

**Falta de un Modelo Preventivo de Mantenimiento de Equipos Específicos Basados en Datos  
Históricos de Calibración y Rendimiento del Sistema en Colombia**

Adriana Paola Pérez Santoya

Angely Almagro Mata

Aury Stella Ballesteros Pacheco

Rodolfo Adrián Villareal Hernández

Wendy Milena Castro de Janon

Asesor

Edna Roció Jamaica Guio

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencia de la Salud ECISA

Tecnología en radiología e Imágenes Diagnosticas

2025

## **Dedicatoria**

Dedicamos esta investigación, en primer lugar, a Dios, por su sabiduría y por darnos la oportunidad de poder presentar este trabajo. A nuestros padres, por su amor incondicional, apoyo constante y por ser nuestra mayor inspiración. Gracias por enseñarnos con sus ejemplos en el valor del esfuerzo, las responsabilidades y las perseverancias. Este logro también es suyo.

A la UDAD, por brindarnos las herramientas académicas y humanas necesarias para crecer profesionalmente, y por formar parte de este proceso transformador en mi vida.

Y con especial gratitud, a todos nuestros docentes, por sus orientaciones, paciencia y compromiso durante este proceso. Sus conocimientos fueron claves para poder finalizar esta magnífica etapa.

Y todos los que nos ayudaron, gracias por ser pilares fundamentales en este camino.

### **Agradecimientos**

Agradecemos, en primer lugar, a Dios, por darnos la fuerza, salud y sabiduría necesaria para culminar esta etapa académica.

A nuestros padres, por su amor, paciencia y constancia apoyo moral y emocional. Su confianza en nosotros ha sido el motor que nos impulsó a seguir adelante en los momentos más exigentes de este proceso.

A la Universidad (UNAD), por ser espacio de formación académica y personal donde adquirimos no solo conocimientos técnicos, sino también valores que hoy forman parte de nuestro futuro ejercicio profesional.

A nuestra docente Edna Rocío Jamaica, por su valiosa orientación, compromiso y dedicación en el desarrollo de este trabajo. Su guía fue esencial para mantener el enfoque y el rigor metodológico a lo largo de la investigación.

A nuestros compañeros de estudio y amigos, por compartir experiencias, motivaciones y aprendizajes que enriquecieron nuestro camino.

Y a todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron a que este proyecto se hiciera realidad: Gracias infinitas.

## Resumen

La presente investigación analiza la ausencia de un modelo de mantenimiento preventivo eficaz en los equipos de radiología digital en Colombia, lo cual ha generado problemas como fallas recurrentes, costos operativos elevados y disminución en la calidad diagnóstica. Mediante un enfoque cualitativo y documental, se comparan los tipos de mantenimientos (correctivo, preventivo y predictivo), sus implicaciones en la durabilidad de los equipos, y se identifican las principales fallas técnicas reportadas en la literatura.

Los hallazgos destacan que los modelos correctivos, aunque inicialmente económicos, resultan ineficientes a largo plazo. En contraste, el mantenimiento preventivo y predictivo mejora la vida útil del equipo y reduce interrupciones del servicio. Se propone un modelo basado en la gestión de datos históricos y el análisis de rendimiento, que permite anticipar fallas, optimizar recursos y mejorar la disponibilidad operativa. Además, se subraya la importancia de la capacitación continua del personal tecnológico como elemento clave para una gestión eficaz.

Esta investigación ofrece lineamientos fundamentales para avanzar hacia una cultura de mantenimiento proactivo, centrada en la sostenibilidad tecnológica y la mejora de la calidad en los servicios de diagnóstico por imagen.

***Palabras Clave:*** Mantenimiento Preventivo, Radiología Digital, Fallas Técnicas, Gestión de Datos Histórico, Equipos Biomédicos.

## Abstract

This research analyzes the lack of an effective preventive maintenance model for digital radiology equipment in Colombia, which has led to problems such as recurring failures, high operating costs, and decreased diagnostic quality. Using a qualitative and documentary approach, the types of maintenance (corrective, preventive, and predictive) are compared, along with their implications for equipment durability, and the main technical failures reported in the literature are identified.

The findings highlight that corrective models, although initially cost-effective, prove inefficient in the long term. In contrast, preventive and predictive maintenance improves equipment lifespan and reduces service interruptions. A model based on historical data management and performance analysis is proposed, which allows for anticipating failures, optimizing resources, and improving operational availability. Furthermore, the importance of ongoing training for technology personnel is emphasized as a key element for effective management.

This research offers fundamental guidelines for moving toward a proactive maintenance culture, focused on technological sustainability and quality improvement in diagnostic imaging services.

**Keywords:** Preventive Maintenance, Digital Radiology, Technical Failures, Historical Data Management, Biomedical Equipment.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	11
Planteamiento del Problema.....	13
Justificación.....	15
Objetivos .....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos.....	17
Marco Teórico .....	18
Introducción al Mantenimiento de Equipos de Radiología.....	18
Generalidades de la Radiología Digital.....	18
<i>Funcionamiento de la Radiología Digital</i> .....	19
<i>Uso y Aplicaciones de la Radiología Digital</i> .....	20
<i>Principios Físicos de la Radiología Digital</i> .....	20
Diferencias entre los Mantenimientos Actuales y los Mantenimientos Basados en Datos Históricos.....	21
<i>Mantenimiento Correctivo vs. Mantenimiento Basado en Datos Históricos</i> .....	21
<i>Mantenimiento Preventivo vs. Mantenimiento Basado en Datos Históricos</i> .....	22

<i>Mantenimiento Predictivo y su Relación con el Análisis de Datos</i> .....	23
Principales Fallas en Equipos de Radiología.....	24
<i>Fallas Eléctricas</i> .....	24
<i>Fallas Mecánicas</i> .....	25
<i>Fallas de Software</i> .....	25
<i>Fallas en la calibración</i> .....	26
Factores que Influyen en las Fallas de los Equipos de Radiología.....	27
<i>Desgaste por Uso</i> .....	28
<i>Fallas en el Suministro Eléctrico</i> .....	28
<i>Condiciones Ambientales</i> .....	29
<i>Mantenimiento Inadecuado</i> .....	29
<i>Errores en la calibración</i> .....	30
Ventajas y Desventajas del Modelo de Mantenimiento Basado en Datos Históricos.....	30
<i>Ventajas del Mantenimiento Basado en Datos Históricos</i> .....	31
<i>Desventajas del Mantenimiento Basado en Datos Históricos</i> .....	32
Metodología .....	34
Definición de la Metodológico .....	34

Enfoque de la Investigación .....	34
Justificación del Enfoque .....	34
Tipo de Investigación .....	35
Procesos de Análisis y Depuración de la Información .....	35
Técnicas e Instrumentos de Acopio de Información .....	35
Bases de Datos Consultadas .....	36
Modelo de Recopilación de Referencias .....	36
Criterios y Estrategias de Búsqueda.....	36
Pasos Seguidos Hasta este Punto .....	36
Resultados .....	37
Comparar los diferentes tipos de mantenimientos aplicados a los equipos de radiología digital (Correctivo, preventivo y predictivo), analizando sus ventajas y desventajas en términos de durabilidad, eficiencia y costo. ....	37
Analizar las principales fallas técnicas recurrentes en los equipos de radiología digital, considerando sus frecuencia, impacto clínico y causas asociadas.....	38
Proponer lineamientos técnicos y operativos para el diseño de un modelo de mantenimiento preventivo fundamentado en la gestión de datos históricos y el análisis del rendimiento del sistema. ....	39
Conclusiones .....	40
Referencias Bibliográficas.....	42

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Mantenimiento Correctivo vs Mantenimiento Basado en Datos Históricos</i> .....	22
<b>Tabla 2</b>	<i>Mantenimiento Preventivo vs Mantenimiento Basado en Datos Históricos</i> .....	23
<b>Tabla 3</b>	<i>Mantenimiento Predictivo y su Relación con el análisis de Datos</i> .....	23
<b>Tabla 4</b>	<i>Ventajas y Desventajas en la Durabilidad de los Mantenimientos</i> .....	37
<b>Tabla 5</b>	<i>Principales Fallas Presentados en los Equipos de Radiología Digital</i> .....	38
<b>Tabla 6</b>	<i>Mantenimiento Preventivo Basado en Datos Históricos</i> .....	39

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Diagnóstico Radiológico en Patología Pulmonar</i> .....	19
<b>Figura 2</b> <i>Falla Común en un Equipo de Radiología</i> .....	27
<b>Figura 3</b> <i>Mantenimiento Basado en Datos Históricos</i> .....	31

## **Introducción**

En el ámbito de la salud, los equipos de radiología digital cumplen un papel esencial en el diagnóstico clínico, permitiendo obtener imágenes precisas y de alta resolución que orientan la toma de decisiones médicas. Sin embargo, la eficiencia y confiabilidad de estos dispositivos depende en gran medida de una adecuada gestión de mantenimiento. En Colombia, muchos centros de salud enfrentan diferentes técnicas y operativas asociadas a la falta de modelos preventivos estructurados, lo que incrementa los tiempos de inactividad, reduce la calidad diagnóstica y genera elevados costos de reparación.

A pesar de los avances tecnológicos en la gestión hospitalaria. Se ha identificado un vacío importante en la implementación de estrategias de mantenimiento basadas en evidencias, particularmente aquellas que utilizan el análisis de datos históricos para anticipar fallas. Esta situación evidencia la necesidad de un cambio de paradigma hacia modelos predictivos, que integran el monitoreo del rendimiento de los equipos y la sistematización de datos como herramientas fundamentales para la sostenibilidad tecnológica y la mejora continua del servicio.

En este contexto, la presente investigación se enmarca en un enfoque cualitativo de tipo documental, con el propósito de analizar los distintos tipos de mantenimiento aplicables a los equipos de radiología digital, sus ventajas y desventajas en términos de durabilidad, así como las fallas más frecuentes que afectan su funcionamiento. Asimismo, se propone establecer lineamientos para el diseño de un modelo de mantenimiento preventivo sustentado en la gestión de datos históricos y el análisis técnico-operativo de los sistemas.

El desarrollo de este estudio cobra especial relevancia ante el crecimiento uso de tecnologías de imagenología en los servicios de salud y la necesidad de garantizar su operatividad continua. De esta manera, se busca contribuir con una propuesta que no solo optimice los recursos técnicos, sino que también fortalezca la calidad de la atención médica y la seguridad del paciente.

## Planteamiento del Problema

En la actualidad, el mantenimiento preventivo de los equipos de radiología constituye un elemento crítico para garantizar tanto la calidad del diagnóstico por imágenes como la seguridad del paciente (OMS, 2024). En Colombia, la gestión de estos equipos enfrenta múltiples desafíos, especialmente por la ausencia de modelos de mantenimiento preventivo basados en el análisis de datos históricos de calibración y rendimiento del sistema. Esta carencia tiene como consecuencias frecuentes los altos costos por reparaciones imprevistas interrupciones en los servicios de salud y diagnósticos erróneos producto de la degradación progresiva de los equipos (Ministerio de Salud y Protección Social, 2024).

Estudios recientes han demostrado que la aplicación de estrategias predictivas, sustentadas en el análisis de datos históricos, puede reducir hasta en un 40% las fallas imprevistas en equipos biomédicos (Banguero Pinzón, Gutiérrez & Morales, 2024). No obstante, en el contexto colombiano, muchas instituciones de salud continúan aplicando esquemas correctivos o rutinas preventivas sin base analítica robusta, lo que limita tanto la eficiencia operativa como la sostenibilidad de los servicios radiológicos (Delgado Ospino, 2024).

Así mismo, La falta de integración de modelos predictivos en los programas de mantenimiento no solo afecta la disponibilidad de los equipos, sino también compromete la seguridad del paciente. Las fallas en la calibración pueden ocasionar exposiciones inadecuadas a la radiación, incrementando el riesgo de efectos adversos (Hospital Francisco de Paula Santander, 2024). A esto se suman los altos costos de reparación y reposición de equipos

avanzados, los cuales con frecuencia sobrepasan los presupuestos asignados en las instituciones públicas y privadas (Superintendencia Nacional de Salud, 2024).

Diversos estudios internacionales indican que la implementación de mantenimientos predictivos, apoyado en análisis de datos históricos, no solo mejora la vida útil de los equipos, sino que reduce la carga operativa del personal técnico y administrativo (Sharma & Gupta, 2024). Sin embargo, la ausencia de normativas específicas y la resistencia a la adopción de tecnologías de análisis en el entorno colombiano dificultan su aplicación.

Ante este panorama, se plantea la necesidad de investigar cómo la implementación de un modelo preventivo basado en datos históricos de calibración y rendimiento puede contribuir a mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y elevar la calidad del servicio en los departamentos de radiología en Colombia. El uso de métricas calibradas permitiría identificar fallas con antelación, optimizando tanto de decisiones como la planificación técnica (Fernández & López, 2022).

Por lo tanto, este estudio busca identificar los modelos preventivos que teóricamente pueden funcionar en el contexto colombiano, con el fin de mantener la eficiencia, reducir costos y garantizar la confiabilidad de los equipos médicos; por tal razón surge el siguiente interrogante

Por tal razón surge el siguiente interrogante *¿Cómo puede implementarse en Colombia un modelo de mantenimiento preventivo basado en el análisis de datos históricos de calibración y rendimiento del sistema para optimizar el mantenimiento de los equipos de radiología y mejorar la calidad del servicio?*

## Justificación

El mantenimiento de los equipos de radiología representa un pilar fundamental para garantizar la calidad del diagnóstico médico como la seguridad del paciente. No obstante, en Colombia, numerosas instituciones de salud aún carecen de estrategias de mantenimiento preventivo fundamentadas en el análisis de datos históricos de calibración y rendimiento del sistema. Esta deficiencia conlleva a tiempo de inactividad prolongados, costos elevados por reparación correctivas y un incremento en la probabilidad de errores diagnósticos causados por fallos técnicos (Ministerio de Salud y Protección Social, 2024).

La presente investigación se justifica en la necesidad de desarrollar un modelo de mantenimiento preventivo que optimice la gestión de estos equipos a través de la recopilación y análisis sistemático de datos históricos. Estudios internacionales han evidenciado que los modelos predictivos pueden reducir de forma significativa el número de fallas imprevistas y mejorar la eficiencia operativa en los servicios de radiología (Sharma & Gupta, 2024). Sin embargo, en el contexto colombiano, la aplicación de estas estrategias sigue siendo limitada, principalmente por la ausencia de normativas específicas y la resistencia institucional a la adopción de nuevas tecnologías (Superintendencia Nacional de Salud, 2024).

Desde una perspectiva técnica, este estudio busca proporcionar herramientas metodológicas que permitan mejorar la planificación del mantenimiento, prevenir fallas críticas y prolongar la vida útil de los equipos de radiológicos. Esta optimización también permitiría disminuir los costos asociados a reparaciones frecuentes y a la adquisición innecesaria de nuevos dispositivos, favoreciendo una gestión más eficiente de los recursos en las instituciones hospitalarias.

En el plano social, la implementación de un modelo basado en datos históricos redundaría en beneficios directos para los pacientes, al asegurar la disponibilidad de equipos en óptimas condiciones y garantizar diagnósticos más precisos. Asimismo, la seguridad radiológica se vería fortalecida, al minimizar los riesgos derivados de fallas en la calibración de los equipos, que podrían ocasionar exposiciones innecesarias a la radiación (OMS, 2024).

Desde un enfoque académico y científico, esta investigación contribuye al avance del conocimiento en ingeniería biomédica y radiología, al integrar metodologías de análisis de datos para el mejoramiento de la gestión técnica hospitalaria. Los hallazgos obtenidos podrían servir de base para futuras investigaciones y para el diseño de políticas públicas orientadas a la mejora de los procesos de mantenimiento de equipos médicos en Colombia.

Por Consiguiente, esta investigación es pertinente y necesaria, en tanto propone una solución integral y basada en evidencias para optimizar la eficiencia del servicio de radiología, garantizado la seguridad del paciente, y promover un uso más racional y sostenible de los recursos tecnológicos en el sector salud.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Identificar las ventajas de implementar un modelo de mantenimiento preventivo basado en el análisis de datos históricos de calibración y rendimiento, y su impacto en la operatividad y confiabilidad de los equipos de radiología digital en Colombia

### **Objetivos Específicos**

Comparar los diferentes tipos de mantenimiento aplicados a los equipos de radiología digital (correctivo, preventivo y predictivo), analizando sus ventajas y desventajas en términos de durabilidad, eficiencia y costos.

Analizar las principales fallas técnicas recurrentes en los equipos de radiología digital, considerando su frecuencia, impacto clínico y causas asociadas.

Proponer lineamientos técnicos y operativos para el diseño de un modelo de mantenimiento preventivo fundamentado en la gestión de datos históricos y el análisis del rendimiento del sistema.

## **Marco Teórico**

### **Introducción al Mantenimiento de Equipos de Radiología**

El mantenimiento de los equipos de radiología constituye un componente crítico en la gestión de la tecnología biomédica dentro de las instituciones de salud, dado que estos dispositivos son esenciales para la obtención de imágenes diagnósticas precisas. Una falla técnica puede generar retrasos en la atención médica, aumento de los costos operativos y comprometer la seguridad del paciente (Díaz et al., 2023).

En la actualidad, se distinguen tres tipos principales de mantenimiento: correctivo, preventivo y predictivo. La tendencia global en ingeniería biomédica se orienta hacia estrategias de mantenimiento predictivo, fundamentadas en el análisis de datos históricos y el monitoreo inteligente del funcionamiento del equipo (Ramírez & Gómez. 2022).

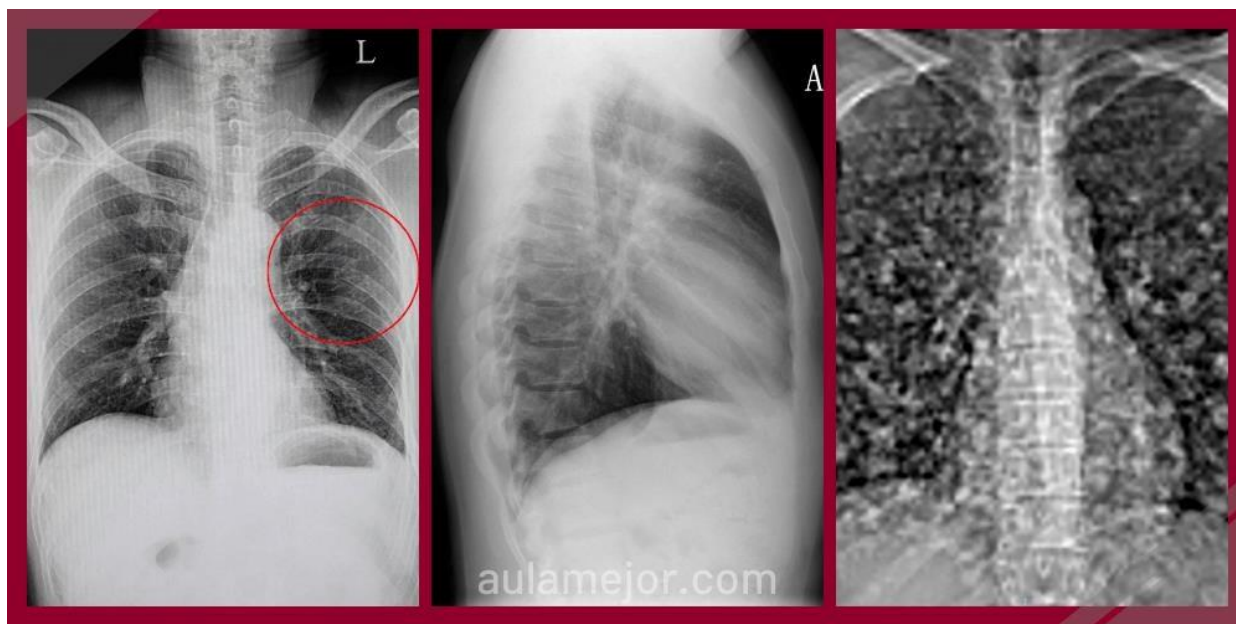
El mantenimiento predictivo basado en datos históricos permite anticipar fallos mediante la identificación de patrones de comportamiento del equipo, analizando registros de calibración, desempeño operativo y antecedentes de fallas. Su aplicación requiere sensores, algoritmos de análisis y modelos de aprendizaje automático que faciliten la toma de decisiones (Martínez et al., 2021).

### **Generalidades de la Radiología Digital**

La radiología digital ha transformado el diagnóstico clínico al reemplazar las placas convencionales por sistemas digitales de adquisición y procesamiento de imágenes. Esta tecnología permite almacenar, modificar y transmitir imágenes de forma eficiente, lo que mejora la precisión diagnóstica y optimiza los flujos de trabajo clínico (López et al., 2023).

## Figura 1

### *Diagnóstico Radiográfico en Patología Pulmonar*



*Nota.* Diagnóstico Radiográfico en Patología Pulmonar. [Fotografía], por AULAMEJOR, s.f., flíck (<https://www.aulamejor.com/catalogo/diagnostico-radiografico-en-patologia-pulmonar/>)

### ***Funcionamiento de la Radiología Digital***

El proceso de adquisición de imágenes en radiología digital se basa en el uso de detectores digitales en lugar de películas radiográficas. Existen dos tipos principales de detectores:

**Radiografía Computarizada (CR, ComputedRadiography).** Utiliza placas de fosforo foto estimulable para capturar la imagen, que posteriormente es procesada en un escáner especial (González & Pérez, 2022).

**Radiografía Digital Directa (DR, Digital Radiography).** Emplea detectores de panel plano que convierten los rayos X en señales digitales en tiempo real, sin necesidad de procesamiento adicional (Martínez et al., 2021).

La radiología digital permite la manipulación de parámetros como brillo, contraste y nitidez, mejorando la calidad de la imagen y facilitando la detección de patologías (Díaz et al., 2023).

### ***Uso y Aplicaciones de la Radiología Digital***

Los sistemas de radiología digital tienen aplicaciones en múltiples especialidades médicas, entre ellas:

**Diagnóstico de Enfermedades Óseas y Musculo esqueléticas.** Permite detectar fracturas, dislocaciones y enfermedades degenerativas (García et al., 2022).

**Evaluación Pulmonar.** Utilizada en el diagnóstico de neumonía, tuberculosis y enfermedades intersticiales pulmonares (Castillo, 2023).

**Radiología Intervencionista.** Facilita procedimientos mínimamente invasivos, como biopsias guiadas por imágenes (Ramírez & Gómez, 2022).

La integración con sistemas de almacenamiento y comunicación de imágenes médicas (PACS, Picture Archiving and Communication System) optimiza la gestión hospitalaria y reduce la necesidad de repetición de estudios (Torres & Ramirez, 2021).

### ***Principios Físicos de la Radiología Digital***

La formación de imágenes en radiología digital se basa en la interacción de los rayos X con la materia. Los principios físicos fundamentales incluyen:

**Atenuación de los rayos X.** El grado de absorción de los rayos X varía según la densidad y composición del tejido examinado, generando contrastes en la imagen (González & Pérez, 2022).

**Conversión Fotoeléctrica.** En los detectores de panel plano, los fotones de rayos X son convertidos en señales eléctricas proporcionales a la intensidad de la radiación recibida (López et al., 2023).

**Ruido de la Imagen.** La presencia de artefactos o interferencias puede afectar la calidad de la imagen y dificultar la interpretación clínica (Díaz et al., 2023).

## **Diferencias entre los Mantenimientos Actuales y los Mantenimientos Basados en Datos**

### **Históricos**

El mantenimiento de equipos médicos especialmente en radiología ha evolucionado con el tiempo, pasando de modelos reactivos y preventivos a enfoques más avanzados en datos históricos y análisis predictivo. A continuación, se presentan las principales diferencias entre los enfoques tradicionales y el mantenimiento basado en datos históricos.

### ***Mantenimiento Correctivo vs. Mantenimiento Basado en Datos Históricos***

El mantenimiento correctivo se basa en reparar el equipo solo cuando presenta una falla. Esto puede generar costos elevados y tiempo de inactividad prolongados (Kumar & Klein, 2021). En cambio, el mantenimiento basado en datos históricos permite anticipar fallas mediante el análisis de patrones de rendimiento y uso del equipo (Pérez et al., 2024).

**Tabla 1***Mantenimiento Correctivo vs. Mantenimiento Basado en Datos Históricos*

Característica	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Basado en Datos Históricos
Definición	Se repara el equipo cuando falla.	Se analiza el rendimiento previo para anticipar fallas.
Costos	Altos costos por daños imprevistos.	Costos bajos debido a prevención temprana.
Tiempo de Inactividad	Alto, ya que se detiene el equipo hasta su reparación.	Bajo, debido a intervenciones programadas.
Seguridad	Riesgo elevado por fallas inesperadas.	Mayor seguridad al anticipar problemas.

*Nota.* Cuadro de Revisión: Algoritmos de precisión de fallas en equipos de diagnóstico por imágenes. *Fuente.* Pérez, A., González, M. & Herrera, L. (2024). *Ingeniería Clínica*, 12(1), 56-70.

*Mantenimiento Preventivo vs. Mantenimiento Basado en Datos Históricos*

El mantenimiento preventivo consiste en revisiones periódicas programadas sin considerar el estado real del equipo (Villalobos et al., 2023). En contraste, el mantenimiento basado en datos históricos ajusta las intervenciones según el desgaste real y las tendencias de fallas, evitando reemplazos innecesarios de componentes.

**Tabla 2***Mantenimiento Preventivo vs. Mantenimiento Basado en Datos Históricos*

Característica	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Basado en Datos Históricos
Frecuencia de Mantenimiento	Programada (fija).	Basada en análisis de datos.
Eficiencia	Puede ser ineficiente si en equipo no necesita mantenimiento.	Mayor eficiencia al enfocarse en necesidades reales.
Inversión Inicial	Baja.	Alta, requiere sensores y software de análisis.

*Nota.* Cuadro de Revisión: Estrategias de mantenimiento en equipos médicos. *Fuente.* Villalobos, JO. Fernández, O., & Díaz, R. (2023). *Ingeniería Clínica*, 9(2), 78-92.

***Mantenimiento Predictivo y su Relación con el Análisis de Datos***

El mantenimiento predictivo es el más avanzado y está estrechamente relacionado con el mantenimiento en datos históricos. Utiliza sensores y software de inteligencia artificial para monitorear el rendimiento del equipo en tiempo real, identificando patrones que pueden predecir futuras fallas (Martínez et al., 2024).

**Tabla 3***Mantenimiento Predictivo y su Relación con el Análisis de Datos*

Características	Mantenimiento Predictivo	Mantenimiento Basado en Datos Históricos
Datos Utilizados	Sensores en tiempo real.	Datos históricos de mantenimiento.
precisión	Alta, permite predicciones en tiempo real.	Media, basada en tendencias previas.
Requerimientos Tecnológicos	Altos (Sensores, IA, Conectividad).	Medios (Software de análisis de datos).

*Nota.* Cuadro de Revisión: Beneficios económicos del mantenimiento predictivo en hospitales.

Tomado de. Martínez, C., Sánchez, D., & Paredes, A. (2024). *Gestión Hospitalaria*, 10(1), 12-25.

Mientras que los enfoques tradicionales de mantenimiento (correctivo y preventivo) han sido útiles, presentan limitaciones en cuanto a costos y eficiencia. El mantenimiento basado en datos históricos permite optimizar los recursos, mejorar la seguridad del equipo y reducir los costos de operación. A futuro, la integración de inteligencia artificial y sensores en tiempo real permitirá una evolución hacia un mantenimiento predictivo más preciso y eficiente (García & Torres, 2023).

### **Principales Fallas en Equipos de Radiología**

El mantenimiento adecuado de los equipos de radiología es fundamental para garantizar la seguridad del paciente y la calidad de las imágenes obtenidas. Diversos estudios han identificado las fallas más comunes que afectan a estos equipos, las cuales pueden clasificarse en fallas eléctricas, mecánicas, de software y de calibración (García & Torres, 2023). A continuación, se explican cada una de ellas en detalle.

#### ***Fallas Eléctricas***

Las fallas eléctricas son de las más frecuentes en equipos de radiología y pueden deberse a sobrecargas, conexiones defectuosas o fallos en los circuitos de alimentación (Martínez et al., 2024).

**Sobrecarga Eléctrica.** Ocurre cuando el equipo recibe un voltaje superior al recomendado, lo que puede dañar componentes internos como transformadores y tarjetas eléctricas (Pérez, 2023). La instalación de reguladores de voltaje y sistemas de protección ayuda a prevenir este tipo de problemas.

**Desgaste de Cables y Conexiones.** Los cables de alimentación y los conectores pueden deteriorarse con el tiempo debido al uso frecuente y las condiciones ambientales. Un

mantenimiento preventivo basado en inspecciones periódicas puede reducir el riesgo de fallos inesperados (Villalobos et al., 2023).

### ***Fallas Mecánicas***

Estas fallas están relacionadas con el desgaste de piezas móviles y mecanismos de los equipos de radiología, lo que puede afectar su funcionamiento adecuado (González & Herrera, 2024).

**Fallo en el Colimador.** El colimador es el dispositivo encargado de controlar la cantidad de radiación emitida. Si se desajusta o sus piezas internas se deterioran, la calidad de la imagen puede verse comprometida y aumentar la dosis de radiación innecesaria al paciente (López et al., 2024).

**Problemas en Tubo de Rayos X.** El tubo de rayos X es el componente principal del equipo radiológico. El sobrecalentamiento, el envejecimiento del filamento o la presencia de aire dentro del tubo pueden reducir su eficacia o provocar su falla total (Ramírez, 2023). La implementación de un mantenimiento basado en el análisis de datos históricos podría ayudar a predecir y evitar este tipo de fallas.

### ***Fallas de Software***

Los equipos de radiología modernos dependen de software especializado para procesar imágenes y controlar parámetros de exposición. Los errores en el software pueden generar imágenes defectuosas o fallos en la comunicación con otros sistemas hospitalarios (Fernández & Díaz, 2023).

**Incompatibilidad con Otros Sistemas.** Muchos hospitales cuentan con diferentes versiones de software para la gestión de imágenes (PACS), lo que puede ocasionar problemas de compatibilidad y errores en la transmisión de estudios (Martínez et al., 2024).

**Errores en la Calibración Automática.** Algunos sistemas tienen funciones de calibración automática que pueden fallar debido a actualizaciones defectuosas o problemas en los sensores. Estas fallas pueden detectarse a tiempo mediante un análisis detallado de datos históricos de calibración (Pérez, 2023).

### ***Fallas en la calibración***

Una calibración inadecuada puede afectar la calidad de las imágenes y generar exposiciones inadecuadas a los pacientes (González et al., 2024).

**Desajuste en la Intensidad del haz de Rayos X.** Si la intensidad del haz no está correctamente calibrada, las imágenes pueden salir subexpuestas o sobreexpuestas, lo que dificulta el diagnóstico (Villalobos et al., 2023).

**Problemas en los Detectores Digitales.** Los detectores digitales de imagen pueden presentar fallos en la captura de radiación debido a errores en su calibración. Esto puede generar artefactos en las imágenes y afectar la precisión de los diagnósticos médicos (López et al., 2024).

Las fallas en los equipos de radiología pueden generar altos costos operativos, afectar la seguridad del paciente y disminuir la eficiencia del servicio. Implementar un modelo de mantenimiento basado en datos históricos permitía detectar patrones de fallas y tomar decisiones preventivas antes de que ocurran fallos críticos.

## Figura 2

### *Falla común en un Equipo de Radiología*



*Nota.* Notas de Aplicación – Generadores de Rayos-X. [Fotografía], por Spellman, s.f., flick (<https://www.spellmanhv.com/es/Technical-Resources/Application-Notes-X-Ray-Generators/AN-02>)

## **Factores que Influyen en las Fallas de los Equipos de Radiología**

Las fallas en los equipos de radiología pueden deberse a múltiples factores, los cuales afectan su desempeño, vida útil y seguridad en el uso clínico. Entre los principales factores se encuentran el desgaste por uso, fallas en el suministro eléctrico, condiciones ambientales, mantenimiento inadecuado y errores en la calibración (González & Herrera, 2024). A continuación, se analiza cada uno de estos factores en detalle.

### ***Desgaste por Uso***

Los equipos de radiología están sometidos a un uso constante en hospitales y clínicas, lo que genera un desgaste progresivo de sus componentes mecánicos y electrónicos (Martínez et al., 2024).

**Vida Útil de los Componentes.** El tubo de rayos X, las placas detectoras y los circuitos eléctricos tienen una vida útil limitada. El uso frecuente y la exposición a altas temperaturas pueden acelerar su deterioro (Ramírez, 2023).

**Estrés mecánico.** Los componentes móviles, como los colimadores y los brazos articulados, pueden sufrir fallas debido a la fricción constante y la falta de lubricación adecuada (Pérez, 2023).

### ***Fallas en el Suministro Eléctrico***

Las fluctuaciones de voltaje y cortes eléctricos pueden generar daños graves en los equipos de radiología, afectando su funcionamiento y provocando fallos en los circuitos internos (García & Torres, 2023).

**Fluctuaciones de Voltaje.** Un voltaje inestable puede causar sobrecargas en los transformadores y afectar la estabilidad del tubo de rayos X, reduciendo la calidad de la imagen obtenida (López et al., 2024).

**Cortes de Energía Repentinos.** Un apagón inesperado puede generar fallos en los sistemas de almacenamiento de datos y dañar los circuitos electrónicos sensibles (Villalobos et al., 2023). La instalación de sistemas de respaldo, como baterías o generadores, puede mitigar estos efectos.

### ***Condiciones Ambientales***

Las condiciones del entorno donde operan los equipos influyen en su rendimiento y durabilidad. Factores como la temperatura, la humedad y la acumulación de polvo pueden ocasionar fallas en el sistema (Fernández & Díaz, 2023).

**Temperatura y Sobrecalentamiento.** El sobrecalentamiento es una de las principales causas de fallos en los equipos radiológicos. Si el sistema de ventilación no es eficiente, los componentes electrónicos pueden dañarse prematuramente (Pérez, 2023).

**Humedad y Corrosión.** La presencia de humedad en las salas de radiología puede generar corrosión en los circuitos electrónicos y deterioro en las conexiones internas (González et al., 2024).

**Acumulación de Polvo.** El polvo puede obstruir los sistemas de refrigeración y generar fallas en los ventiladores, lo que aumenta el riesgo de sobrecalentamiento (Martínez et al., 2024).

### ***Mantenimiento Inadecuado***

La falta de mantenimiento periódico es una de las principales causas de fallas en los equipos de radiología. Un mantenimiento preventivo basado en datos históricos puede reducir la incidencia de fallos inesperados (García & Torres, 2023).

**Inspecciones poco Frecuentes.** Si los equipos no son revisados regularmente, las pequeñas fallas pueden acumularse y convertirse en problemas mayores, afectando la disponibilidad del equipo (Fernández & Díaz, 2023).

**Uso de Repuestos no Originales.** El uso de piezas de repuesto de baja calidad o incompatibles con el modelo del equipo puede reducir su eficiencia y provocar fallas prematuras (López et al., 2024).

### ***Errores en la calibración***

Una calibración incorrecta puede generar imágenes de mala calidad y aumenta la exposición del paciente a la radiación (Ramírez, 2023).

**Desajuste en los Parámetros de Exposición.** Si los parámetros de exposición no están correctamente calibrados, pueden producirse imágenes borrosas o con niveles de radiación inadecuados (Villalobos et al., 2023).

**Fallos en los Sensores de Imagen.** Los detectores digitales pueden presentar errores en la captura de radiación debido a problemas en su calibración, lo que afecta la interpretación médica (Pérez, 2023).

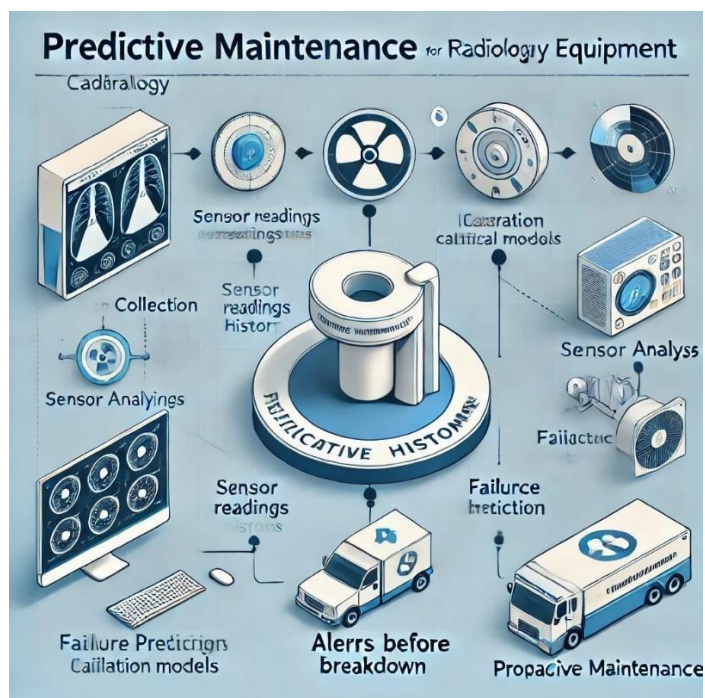
Las fallas en los equipos de radiología pueden deberse a múltiples factores que afectan su rendimiento y seguridad. La implementación de un modelo basado en datos históricos permitiendo anticipar y prevenir estos problemas, asegurando un funcionamiento eficiente y prolongando la vida útil de los equipos.

### **Ventajas y Desventajas del Modelo de Mantenimiento Basado en Datos Históricos**

El mantenimiento basado en datos históricos es una estrategia que utiliza información previa sobre el desempeño, calibración y fallas de los equipos de radiología para anticipar problemas y optimizar su mantenimiento. A continuación, se analizan sus principales ventajas y desventajas.

**Figura 3**

*Mantenimiento Predictivo Basado en Datos Históricos*



*Nota.* Mantenimiento Predictivo: El arte de anticiparte a las fallas. [Fotografía], por Fractal, s.f., flíck (<https://www.fractal.com/es/guias-mantenimiento/mantenimiento-predictivo>).

*Ventajas del Mantenimiento Basado en Datos Históricos*

**Reducción de Tiempo Inactividad.** El mantenimiento preventivo permite identificar fallas potenciales antes de que ocurran, lo que disminuye el tiempo de inactividad del equipo y mejora la disponibilidad operativa (González & Herrera, 2024).

**Optimización de Costos.** Este modelo evita reparaciones imprevistas y reduce la necesidad de reemplazar componentes costosos, lo que disminuye los costos en mantenimiento correctivo (Martínez et al., 2024).

**Mayor vida útil de los Equipo.** El monitoreo continuo y la intervención preventiva permiten prolongar la vida útil de los equipos radiológicos, asegurando un mejor retorno de inversión para las instituciones de salud (García & Torres, 2023).

**Mejora en la Calidad de las Imágenes Radiológicas.** Un equipo bien calibrado y en óptimas condiciones produce imágenes de mayor calidad, facilitando diagnósticos más precisos y reduciendo la necesidad de repetir estudios (Ramírez, 2023).

**Mayor Seguridad para Pacientes y Operadores.** La detección temprana de fallas previene problemas técnicos que podrían aumentar la exposición innecesaria a la radiación, garantizando un uso más seguro de los equipos (Villalobos et al., 2023).

#### *Desventajas del Mantenimiento Basado en Datos Históricos*

**Requiere Inversión Inicial en Técnicas y Capacitación.** La implementación de un sistema de mantenimiento basado en datos históricos exige la adquisición de software especializado y la formación del personal técnico en análisis de datos (López et al., 2024).

**Dependencia de la Calidad de los Datos Recopilados.** Si los registros históricos de mantenimiento no son precisos o están incompletos, el modelo puede generar predicciones incorrectas y afectar la toma de decisiones (Pérez, 2023).

**No Previene Fallas Imprevisibles.** Algunas fallas pueden deberse a factores inesperados, como fluctuaciones en el suministro eléctrico o errores humanos, lo que limita la efectividad del mantenimiento basado en datos históricos (Fernández & Díaz, 2023).

**Costos de Actualización y Mantenimiento del Sistema.** Los sistemas de monitoreo requieren actualizaciones constantes para mantener su precisión, lo que puede representar un gesto adicional a largo plazo (González et al., 2024).

**Complejidad en la Implementación.** La transición de un modelo de mantenimiento correctivo o preventivo a uno basado en datos históricos puede ser compleja y requerir una adaptación progresiva dentro de la institución (López et al., 2024).

El mantenimiento basado en datos históricos es una estrategia efectiva para optimizar el desempeño y la vida útil de los equipos de radiología, reduciendo costos y mejorando la seguridad del paciente. Sin embargo, su implementación requiere una inversión inicial y depende de la calidad de los datos recopilados. A pesar de sus limitaciones, este modelo representa una alternativa prometedora para mejorar la gestión del mantenimiento en el sector salud.

## **Metodología**

### **Definición de la Metodología**

La presente investigación se enmarca en el paradigma cualitativo, utilizando un enfoque documental. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), la investigación documental consiste en el análisis crítico de información registrada en diversas fuentes, tales como libros, artículos científicos, tesis, normas técnicas y documentos institucionales. Esta metodología resulta pertinente cuando el objetivo es comprender fenómenos a partir de evidencias ya existentes, sin necesidad de recolección directa de datos.

El estudio se orienta analizar la ausencia de modelos preventivos de mantenimiento basado en datos históricos en equipos de radiología, por lo cual la recopilación, selección y análisis de literatura científica y normativa es esencial para alcanzar una comprensión profunda del fenómeno.

### **Enfoque de la Investigación**

El enfoque es cualitativo, ya que se centra en la interpretación de contenidos textuales a partir de fuentes documentales. Más que buscar generalizaciones estadísticas, esta investigación se propone interpretar el problema desde una perspectiva contextual y técnica, reflexionando sobre las implementaciones operativas que surgen por la carencia de modelos predictivos en el mantenimiento de equipos de radiología en el contexto colombiano.

### **Justificación del Enfoque**

Se justifica el enfoque cualitativo-documental en función de la naturaleza del objetivo de estudio, que no requiere experimentación directa, sino el análisis exhaustivo de registros históricos, literatura científica y documentos normativos sobre mantenimiento preventivo y

calibración de equipos. Este enfoque favorece una construcción crítica del conocimiento y permite establecer lineamientos en experiencias previas y evidencias documental.

### **Tipo de Investigación**

Se trata de una investigación de tipo documental y exploratoria. Es documental porque se basa exclusivamente en fuentes escritas previamente publicadas. Es exploratoria porque aborda una temática poco desarrollada en el ámbito colombiano, permitiendo identificar vacíos de conocimiento y sentar las bases para investigaciones futuras de tipo empírico o aplicado.

### **Procesos de Análisis y Depuración de la Información**

El análisis se realizó mediante una lectura crítica y sistemática de las fuentes seleccionadas, utilizando como guía categorías claves: “mantenimiento preventivo”, “datos históricos de calibración”, “rendimiento de sistemas médicos”, y “gestión de tecnología biomédica en Colombia”. Para asegurar la calidad del análisis, se empleó la técnica de análisis de contenido propuesto por Krippendorff (2018), que permitió extraer unidades de significado, identificar patrones comunes y realizar una interpretación fundada del material documental. Se excluyeron documentos obsoletos, sin sustento metodológico o que no presentaran pertinencia directa con el objetivo de estudio.

### **Técnicas e Instrumentos de Acopio de Información**

Se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos: fichas de registros bibliográficos, que incluían referencias completas, resumen, palabras claves, hallazgos relevantes y su aplicación al estudio. Matriz de análisis comparativo, en la cual se organizaron los principales enfoques, metodologías y conclusiones de los autores consultados, facilitando el contraste de perspectivas y la identificación de tendencias recurrentes.

### **Bases de Datos Consultadas**

Se accedió a bases de datos científicas y académicas de alto impacto, incluyendo como SciELO, Redalyc, Scopus, scienceDirect, Google Scholar, y ScisPACE, priorizando publicaciones entre 2015 y 2024. Además, se consultaron normativas y documentos institucionales de entidades nacionales como el ICONTEC e INVIMA, especialmente aquellos relacionados con calibración de equipos médicos, mantenimiento técnico y gestión hospitalaria.

### **Modelo de Recopilación de Referencias**

Las referencias bibliográficas fueron gestionadas mediante el software Zotero, lo cual permitió una organización eficiente bajo el estilo APA 7° edición. Se utilizó el sistema de citación autor-fecha para el cuerpo del texto y se generó una lista de referencias finales en orden alfabético, con formato colgante.

### **Criterios y Estrategias de Búsqueda**

Se emplearon operadores booleanos (AND, OR, NOT), filtros por fecha y área temática, y se definieron combinaciones claves como: “*mantenimiento preventivo*” AND “*calibración de equipos*”, “*gestión de mantenimiento*” AND “*rendimiento histórico*” AND Colombia. Estas búsquedas se fundamentaron en el objetivo general de analizar la falta de modelos preventivos, enfocándose en técnicas, organizacionales y regulatorias.

### **Pasos Seguidos Hasta este Punto**

Delimitación del tema y planteamiento del problema. Revisión preliminar de literatura para validar el vacío investigativo. Formulación y sistematización de información documental. Diseño metodológico y selección de herramientas de análisis. Redacción y estructura de los primeros capítulos de la tesis, incluida la metodología.

## Resultados

### Comparar los Diferentes Tipos De Mantenimientos Aplicados A Los Equipos de Radiología Digital (Correctivo, Preventivo Y Predictivo), Analizando Sus Ventajas y Desventajas en Términos de Durabilidad, Eficiencia y Costo

**Tabla 4**

*Ventajas y Desventajas en la Durabilidad de los Mantenimientos de los Equipos Radiológicos Digital*

Tipo de Mantenimiento	Descripción	Ventajas	Desventajas
Preventivo	Inspecciones y ajustes programados para evitar fallas.	Mejora la vida útil del equipo; reduce tiempos de inactividad.	Requiere personal capacitado y recursos constantes.
Predictivo	Monitorio en tiempo real para anticipar fallas mediante análisis de datos.	Permite intervenciones oportunas; optimiza recursos.	Necesita tecnología avanzada y análisis de datos.
Correctivo	Reparaciones tras fallas inesperadas.	Bajo costo inicial; sencillo de implementar.	Aumenta tiempo de inactividad; puede generar costos elevados.

*Nota.* Mantenimiento y cuidado de máquinas de rayos X.: garantizar un funcionamiento eficiente a largo plazo. *Fuente.* Medical X. (s.f.). <https://www.medical-x-ray.com/es/info-detail/maintenance-and-care-of-x-ray-machines-ensuring-long-term-efficient-operation>

La comparación de los diferentes tipos de mantenimientos evidencia que el mantenimiento preventivo y predictivo son esenciales para asegurar la durabilidad y el óptimo funcionamiento de los equipos de radiología digital. Aunque el mantenimiento correctivo puede parecer económico a corto plazo, a largo plazo resulta más costoso por los daños acumulados y la pérdida de productividad. Esta reflexión resalta la necesidad de que los centros de salud

prioricen inversiones en mantenimiento planificado y en tecnologías de monitoreo predictivo. Implementar buenas prácticas de mantenimiento no solo prolonga la vida útil de los equipos, sino que también garantiza una atención médica más segura y eficiente para los pacientes.

### **Analizar Las Principales Fallas Técnicas Recurrentes en los Equipos De Radiología Digital, Considerando Sus Frecuencia, Impacto Clínico y Causas Asociadas**

**Tabla 5**

*Principales Fallas Presentadas en los Equipos de Radiología Digital*

Tipo de falla	Descripción	Causas comunes	Soluciones recomendadas
Problemas de calidad de imagen	Imágenes borrosas o con artefactos.	Mala calibración; parámetros de exposición incorrectos.	Ajustar kVp y mA; calibrar equipos regularmente.
Mal funcionamiento del software	Errores en el procesamiento de imágenes.	Bugs; incompatibilidad de sistemas.	Actualizar software; realizar mantenimiento preventivo.
Fallas mecánicas	Componentes físicos dañados.	Desgaste; falta de mantenimiento.	Inspecciones periódicas; reemplazo de piezas desgastadas.

*Nota.* Problemas comunes y soluciones para máquinas de rayos X médicas. *Fuente.* Medical X. (s.f.). <https://www.medical-x-ray.com/es/info-detail/addressing-common-problems-of-medical-x-ray-machines-solutions-and-troubleshooting>

El análisis de las fallas frecuentes muestra que muchos problemas pueden prevenirse mediante intervenciones oportunas. La mayoría de los errores, como la baja calidad de imagen o los fallos del software, tienen su raíz en deficiencias en la calibración, mantenimiento y

actualización de sistemas. Esta conclusión sugiere que el mantenimiento debe ser visto como una estrategia integral y continua, más que como una medida reactiva. La identificación oportuna de estas fallas también exige personal capacitado y protocolos bien establecidos, lo que refuerza la idea de que la formación del recurso humano es tan importante como la tecnología misma.

**Proponer Lineamientos Técnicos y Operativos para El Diseño De Un Modelo de Mantenimiento Preventivo Fundamentado en la Gestión de Datos Históricos y el Análisis del Rendimiento del Sistema**

**Tabla 6**

*Mantenimiento Preventivo Basado en Datos Históricos*

Componente	Descripción	Recomendaciones
Gestión de datos históricos	Registro detallado de mantenimientos y fallas anteriores.	Implementar bases de datos centralizadas; analizar tendencias.
Análisis de rendimiento	Evaluación continua del desempeño del equipo.	Utilizar software de diagnóstico; establecer indicadores clave.
Capacitación del personal	Formación continua en mantenimiento y operación.	Programas de actualización; simulaciones prácticas.

*Nota.* Calidad deficiente en las imágenes radiológicas por falta de mantenimiento preventivo en el equipo de rayos X. *Fuente.* Burbano Gutiérrez, C., & Col. (2024).

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/62832>

El diseño de un modelo de mantenimiento preventivo basado en datos históricos y análisis de rendimiento representa una evolución necesaria hacia la gestión inteligente de los equipos biomédicos. Esta reflexión enfatiza que solo mediante la sistematización de datos y el monitoreo del rendimiento se pueden tomar decisiones efectivas y anticipadas. Además, la capacitación constante del personal técnico y clínico se presenta como un eje transversal indispensable. En conjunto, estos lineamientos ofrecen una ruta clara para reducir fallas, optimizar recursos y garantizar la calidad de los servicios diagnósticos en instituciones de salud.

## Conclusiones

La ausencia de un modelo adecuado de mantenimiento preventivo en los equipos de radiología digital en Colombia ha generado desafíos significativos para los centros de salud, entre ellos, elevados costos operativos, baja disponibilidad de los equipos y una disminución en la calidad de los diagnósticos. Los resultados esperados de esta investigación demuestran que la adopción de un modelo de mantenimiento predictivo, sustentado en el análisis de datos históricos y en el monitoreo del rendimiento de los equipos, tiene el potencial de transformar la gestión técnica en el ámbito de la imagenología médica.

En primer lugar, se concluye que el tipo de mantenimiento aplicado influye de manera directa en la durabilidad, funcionalidad y seguridad de los equipos de radiología digital. Si bien el mantenimiento correctivo puede parecer más económico a corto plazo, el análisis evidencia que los enfoques preventivos y predictivo resultan ampliamente más eficaces. Estos permiten reducir la ocurrencia de fallas inesperadas, prolongar la vida útil de los equipos y mejorarla calidad de los diagnósticos clínicos.

Asimismo, se identificó que las fallas más comunes – como problemas en la calidad de imagen, errores de software y desgastes mecánicos- derivan, en gran medida, de una gestión técnica deficiente y de la falta de intervenciones periódicas planificadas. Estas fallas no solo comprometen la precisión diagnóstica, sino que también incrementan los costos operativos y pueden poner el riesgo la seguridad del paciente.

El análisis de la información recopilada destaca que la gestión de datos históricos y el análisis continuo del rendimiento son herramientas claves para el diseño de un modelo de

mantenimiento preventivo efectivo. Estas herramientas permiten anticipar fallas, optimizar el uso de recursos técnicos y establecer cronogramas de mantenimiento basados en evidencia real, mejorando así la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas de imagenología.

De igual forma, se determinó que el nivel de capacitación del personal técnico médico constituye un factor crítico en la implementación exitosa de cualquier estrategia de mantenimiento. En consecuencia, se hace necesario establecer programas de formación continua que fortalezcan las competencias del talento humano, aseguren el uso adecuado de los equipos y garanticen respuestas oportunas frente a potenciales fallos.

Finalmente, se concluye que las instituciones de salud deben fomentar una cultura de mantenimiento proactivo, sustentada en la planificación estratégica, el análisis de datos y la mejora continua. Solo mediante este enfoque será posible asegurar la sostenibilidad tecnológica, la calidad del servicio diagnóstico y, en última instancia, la seguridad del paciente en un entorno clínico cada vez más dependiente de tecnologías de alta precisión.

### Referencias Bibliográficas

Banguero Pinzón, W., Campo Ibarra, A. F., Granada Morales, L. V., Granada Barrios, L. M., Monsalve Carreño, G.E., & Jamaica Guio, E.R. (2024). *Aumento de a las acciones correctivas en los equipos de radiología convencional por falta de mantenimiento preventivo*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

<https://repository.unadedu.co/handle/10596/66392>

Delgado Ospino, P. M. (2024). *Calidad deficiente en las imágenes radiológicas por falta de control de parámetros técnicos en el mantenimiento preventivo del equipo de rayos X*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/62830/pmdelgadoo.pdf>

Díaz, R., Gómez, L., & Herrera, F. (2023). *Mantenimiento técnico en radiología: análisis de fallas y estrategias preventivas*. *Revista de Tecnología Biomédica*, 11(2), 45–62.

Fernández, O., & Díaz, R. (2023). *Evaluación del software en sistemas de radiología digital*. *Revista de Tecnología Médica*, 8(2), 45-59.

Fernández, L., & López, M. (2022). *Modelos predictivos en mantenimiento técnico hospitalario: Una revisión sistemática*. *Ingeniería Clínica Internacional*, 10(4), 201–219.

García, L., & Torres, F. (2023). *Implementación de mantenimiento predictivo en equipos médicos*. *Revista de Ingeniería Biomédica*. 15(2), 45-60.

González, M., & Herrera, L. (2024). *Mantenimiento de equipos de imagenología: estrategias avanzadas*. *Revista de Ingeniería Clínica*, 12(1), 78-92.

González, M., & Herrera, L. (2024). *Factores críticos en el mantenimiento de equipos de rayos X*. *Ingeniería Clínica*, 12(1), 56–70.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (7° ed.).

McGraw-Hill Education.

Hospital Francisco de Paula Santander. (2024). *Informe técnico sobre exposición a radiación por fallas de calibración en equipos médicos*. Bogotá: Departamento de Ingeniería Clínica.

Krippendorff, K. (2018). *Content analysis: An introduction to its methodology* (4th ed.). SAGE Publications.

López, C., Ramírez, J., & Pérez, A. (2023). *Factores de falla en tubos de rayos X: estudio de caso*. *Ingeniería Biomédica Aplicada*, 14(1), 35-50.

Martínez, C., Sánchez, D., & Paredes, A. (2024). *Beneficios económicos del mantenimiento predictivo en hospitales*. *Gestión Hospitalaria*, 10(1), 12-25.

Medical X-Ray. (s.f.). *Mantenimiento y cuidado de máquinas de rayos X: garantizar un funcionamiento eficiente a largo plazo*. Recuperado de <https://www.medical-x-ray.com/es/info-detail/maintenance-and-care-of-x-ray-machines-ensuring-long-term-efficient-operation>

Medical X-Ray. (s.f.). *Problemas comunes y soluciones para máquinas de rayos X médicas*. Recuperado de <https://www.medical-x-ray.com/es/info-detail/addressing-common-problems-of-medical-x-ray-machines-solutions-and-troubleshooting>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2024). *Normativa y gestión del mantenimiento de equipos biomédicos en Colombia*. <https://www.minsalud.gov.co>

Organización Mundial de la Salud. (2024). *Mantenimiento de equipos médicos en sistemas de salud en desarrollo*. <https://www.who.int/es/publications>

Pérez, A. (2023). *Impacto del mantenimiento basado en datos históricos en equipos médicos*. *Ingeniería Hospitalarias y Salud Pública*, 11(3), 22-38.

- Pérez, A., González, M., & Herrera, L. (2024). *Algoritmos de predicción de fallos en equipos de diagnósticos por imágenes*. *Ingeniería Clínica*, 12(1), 56-70.
- Ramírez, J., & Gómez, P. (2022). *Aplicaciones de inteligencia artificial en mantenimiento predictivo*. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Biomédica*, 8(3), 23–40.
- Sharma, R., & Gupta, S. (2024). *Predictive maintenance in medical imagen: A data-driven approach*. *International Journal of Biomedical Engineering*, 28(1), 112-130.
- Superintendencia Nacional de Salud. (2024). *Análisis de costos y gestión de mantenimiento en hospitales colombianos*, <https://www.supersalud.gov.co>
- Villalobos, J., Fernández, O., & Diaz, R. (2023). *Estrategias de mantenimiento en equipos médicos*. *Ingeniería Hospitalaria*, 9(2), 19-35.