

**Alternativa de Secuencia de Turnos para la Organización de Mantenimiento Aprobada  
(OMA): Respuesta a la Reducción Progresiva de Jornadas Laborales en Colombia**

Alejandro Quiceno López

Facultad de Ingeniería



SNIES 107154: Ingeniería Industrial

Tutora: Diana Paola Figueroa Hernández

26 de noviembre de 2024

## Resumen Ejecutivo

El presente proyecto de grado tiene como objetivo principal diseñar y evaluar al menos dos propuestas de secuencia de turnos alternativos para la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA), con el fin de cumplir con la reducción progresiva de la jornada laboral semanal en Colombia, establecida por la Ley 2101 de 2021. Este cambio normativo, que exige la reducción de la jornada laboral a 42 horas semanales para 2026, plantea desafíos significativos para las empresas de operación continua, como la OMA, que deben mantener su eficiencia operativa y garantizar el bienestar de su personal.

La metodología del proyecto incluye un análisis detallado del sistema de turnos actual, identificando sus impactos en la productividad, el bienestar de los técnicos y los costos operativos. A partir de este análisis, se plantearán al menos dos propuestas de modelos de rotación de turnos, considerando las ventajas y desventajas de cada una, para identificar cuál se ajusta mejor a las necesidades operativas, normativas y de bienestar del equipo. Estas propuestas también abordarán la reducción de los tiempos de empalme entre turnos y el ajuste del uso del transporte corporativo, contribuyendo a una disminución de los costos logísticos.

El marco de referencia del estudio incluye teorías sobre gestión de turnos y productividad, normativas laborales aplicables en Colombia, estrategias de ingeniería para la asignación eficiente de recursos, y estudios de caso previos sobre estructuras de turnos adaptativos. Este análisis permite integrar mejores prácticas internacionales, como las normas ISO 45001 e ISO 10075, para garantizar un entorno laboral seguro y sostenible. Asimismo, se consideran simulación para evaluar la viabilidad de las propuestas planteadas.

El proyecto destaca por su enfoque integral, que abarca la dimensión normativa, operativa y económica, asegurando un equilibrio entre los requerimientos legales y las necesidades de la empresa y los trabajadores. Las propuestas planteadas no solo buscan garantizar el cumplimiento normativo, sino también mejorar el bienestar del equipo técnico y

reducir los costos operativos, fortaleciendo así la competitividad de la OMA en el sector aeronáutico.

Los resultados esperados incluyen diseños de turnos que mantengan la cobertura operativa requerida, minimicen la carga laboral y mejoren la satisfacción del personal. Al evaluar las ventajas y desventajas de cada propuesta, se busca identificar un modelo de turnos viable que sirva como referencia para otras organizaciones enfrentando desafíos similares, contribuyendo al desarrollo de prácticas laborales sostenibles y eficientes en sectores de alta demanda operativa.

### **Executive Summary**

The main objective of this thesis project is to design and evaluate at least two alternative shift sequence proposals for the Approved Maintenance Organization (OMA), in compliance with the progressive reduction of the weekly working hours in Colombia as established by Law 2101 of 2021. This regulatory change, which mandates the reduction of the working week to 42 hours by 2026, poses significant challenges for continuous operation companies like OMA, which must maintain operational efficiency while ensuring the well-being of their personnel.

The project methodology includes a detailed analysis of the current shift system, identifying its impacts on productivity, technician well-being, and operational costs. Based on this analysis, at least two rotational shift models will be proposed, considering the advantages and disadvantages of each, to determine which one best meets the operational, regulatory, and employee welfare needs. These proposals will also address the reduction of overlap times between shifts and the adjustment of corporate transportation usage, contributing to reduced logistical costs.

The study's framework includes theories on shift management and productivity, applicable labor regulations in Colombia, engineering strategies for efficient resource allocation, and case studies on adaptive shift structures. This analysis integrates international best

practices, such as ISO 45001 and ISO 10075 standards, to ensure a safe and sustainable work environment. Simulations are also considered to evaluate the feasibility of the proposed models.

This project stands out for its comprehensive approach, covering regulatory, operational, and economic dimensions to ensure a balance between legal requirements and the needs of the company and its employees. The proposed solutions aim not only to comply with regulations but also to enhance the well-being of the technical team and reduce operational costs, thereby strengthening OMA's competitiveness in the aviation sector.

The expected outcomes include shift designs that maintain the required operational coverage, minimize workload, and improve employee satisfaction. By evaluating the advantages and disadvantages of each proposal, the project seeks to identify a viable shift model that can serve as a reference for other organizations facing similar challenges, contributing to the development of sustainable and efficient labor practices in sectors with high operational demands.

**Palabras clave:**

Gestión de turnos, optimización operativa, Ley 2101 de 2021, reducción de jornada laboral, turnos rotativos, Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA), análisis económico, satisfacción laboral, sector aeronáutico, normas laborales en Colombia, On Call.

**Keywords:**

Shift management, operational optimization, Law 2101 of 2021, workday reduction, rotating shifts, Approved Maintenance Organization (AMO), economic analysis, job satisfaction, aviation sector, labor regulations in Colombia, On Call.

## Introducción

En el contexto de la creciente demanda de cumplimiento normativo y eficiencia operativa, las empresas de operación continua enfrentan desafíos significativos para adaptarse a cambios en la legislación laboral. En Colombia, la Ley 2101 de 2021 establece una reducción progresiva de la jornada laboral semanal de 48 a 42 horas para el año 2026, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los trabajadores. Este cambio normativo obliga a las organizaciones a rediseñar sus sistemas de trabajo para garantizar tanto la sostenibilidad operativa como el bienestar de su equipo humano.

La Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA), dedicada a ofrecer servicios de mantenimiento en la industria aeronáutica, se encuentra en una posición estratégica donde debe garantizar la cobertura operativa continua, tanto en los tránsitos de las aeronaves como en turnos nocturnos. Aunque el sistema actual de turnos ha sido efectivo hasta el momento, el reto surge con la implementación de la reducción de la jornada laboral, ya que continuar con el mismo esquema implicaría la falta de empalmes adecuados entre turnos, lo que a su vez afectaría la cobertura completa que la OMA debe ofrecer al operador. Asimismo, la reducción de la jornada laboral brinda una oportunidad para diseñar una secuencia de turnos que permita reducir la cantidad de días que el personal debe asistir al trabajo, generando beneficios como la disminución de costos de transporte.

Este proyecto tiene como propósito principal analizar el sistema de turnos vigente en la OMA y proponer al menos dos alternativas de secuencias de turnos que se adapten a las exigencias normativas, operativas y económicas de la organización. Estas propuestas buscan proporcionar soluciones prácticas y efectivas que equilibren las necesidades legales con el bienestar del personal, permitiendo a la OMA mantener su competitividad en el sector aeronáutico.

La investigación no solo responde a una necesidad organizacional específica, sino que también contribuye al desarrollo de prácticas laborales sostenibles en industrias de alta demanda operativa. Al evaluar las ventajas y desventajas de las propuestas planteadas, se espera generar un modelo replicable en otras bases de la OMA y en organizaciones que enfrentan retos similares, fortaleciendo el vínculo entre la ingeniería industrial y la gestión de recursos humanos en contextos críticos.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Proponer una secuencia de turnos alternativa para la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA), en respuesta a la reducción de la jornada laboral semanal en Colombia, que garanticen una disponibilidad estable de horas-hombre y balanceen de manera efectiva las necesidades operacionales y el bienestar del equipo de trabajo, minimizando los tiempos de empalme entre turnos y reduciendo los costos asociados.

### **Objetivos Específicos**

1. Analizar el sistema de turnos actual para evaluar su desempeño y las implicaciones de la reducción de la jornada laboral en la productividad, la cobertura de personal y el bienestar del equipo, identificando ajustes necesarios.
2. Desarrollar un modelo de rotación de turnos que cumpla con la normativa de reducción de horas laborales en Colombia, proyectado a las 42 horas semanales de trabajo para el año 2026.
3. Alinear la secuencia de turnos con la distribución equitativa, garantizando una adecuada rotación que mantenga el cumplimiento de los requisitos operacionales y los tiempos de descanso necesarios para el bienestar del equipo.

4. Validar la viabilidad y el impacto de las propuestas de estructuras de turnos mediante simulaciones y encuestas al personal, evaluando su efectividad para cubrir los turnos, su aceptación por parte del equipo y su impacto en el bienestar del personal y en los costos operativos de la empresa.

### **Definición del Problema**

La gestión de turnos en una Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) dedicada a brindar servicio de mantenimiento a una aerolínea enfrenta importantes retos debido a los recientes cambios en la legislación laboral de Colombia. A partir de julio de 2026, la jornada laboral se reducirá a 42 horas semanales, lo que obliga a revisar los sistemas de turnos actuales para adaptarse a la nueva normativa sin afectar la operatividad ni el bienestar del personal. Según la Ley 2101 de 2021, esta transición gradual hacia una jornada más corta tendrá un impacto directo en la estructura de turnos de las organizaciones, lo que podría afectar tanto la eficiencia operativa como la productividad del personal (Alonso, 2023).

En la actualidad, la OMA funciona con un esquema rotativo de tres turnos diarios, con días laborales y de descanso establecidos de manera fija. Este sistema asegura la cobertura continua de personal, especialmente durante la noche, donde se requiere la mayor cantidad de técnicos. Sin embargo, la reducción de horas impone nuevas demandas operativas, lo que obliga a replantear la distribución del personal y la organización de los turnos (Rodríguez Quintero, 2023). Este ajuste de la estructura de turnos debe considerar, además, la optimización de los recursos logísticos, como el transporte, para hacer más sostenible la operación.

La optimización de los turnos en las operaciones de mantenimiento de aeronaves no solo busca mejorar la eficiencia operativa, sino también garantizar el bienestar de los técnicos. En este sentido, se ha identificado que la asignación de tareas de mantenimiento a los técnicos debe ser flexible y considerar aspectos como las licencias requeridas para cada tarea, el

tiempo de descanso necesario entre turnos, y las posibles variaciones en la demanda de mantenimiento (Niu et al., 2021). Según el estudio de Silva et al. (2023), la programación eficiente de las tareas de mantenimiento es crucial para maximizar la disponibilidad de las aeronaves y reducir los costos operativos. Esta programación permite garantizar la eficiencia operativa y minimizar los tiempos de inactividad de las aeronaves, lo cual es clave en la optimización de los recursos disponibles.

Para cumplir con los requisitos legales sin comprometer la eficiencia operativa, será necesario ajustar la estructura de los turnos, de forma que se logre una distribución equitativa de los técnicos y se garantice la cobertura sin vacíos, especialmente en los turnos nocturnos. Es necesario tener en cuenta varios factores en la asignación eficiente de tareas, como la reducción de los tiempos de inactividad de las aeronaves y la mejora de la utilización de los recursos humanos. Estos factores son fundamentales para asegurar que el personal de mantenimiento esté adecuadamente distribuido en función de las necesidades operativas, maximizando la cobertura sin generar vacíos operativos. (Niu et al., 2021).

Además, el estudio de Moraes, Ullah y de Tomi (2024) sobre la duración de los turnos en industrias como la minería sugiere que aumentar la duración de los turnos más allá de 8 horas puede generar problemas relacionados con la fatiga y la disminución de la productividad. Estos factores deben tenerse en cuenta al rediseñar el sistema de turnos en la OMA para garantizar que los técnicos no sufran de agotamiento, lo que podría comprometer tanto su bienestar como la seguridad de las operaciones de mantenimiento.

Este proyecto tiene como propósito el diseño de al menos dos propuestas de turnos alternativos, evaluando las ventajas y desventajas de cada una, para determinar cuál se adapta mejor a las necesidades operativas y al marco normativo. Es clave que la implementación de la reducción de la jornada sea cuidadosamente evaluada, con un enfoque en asegurar que la asignación de los recursos sea óptima, sin perder de vista el bienestar de los empleados ni la productividad de la organización (Espinosa Buelvas, León Vargas, & Alvarado, 2023).

A partir de esta problemática, las preguntas de investigación que orientan este estudio son:

- ¿Cuál es la estructura mínima de grupos que puede cumplir con los requisitos de la nueva legislación laboral y mantener la cobertura operativa de la OMA?
- ¿Cómo se puede redistribuir el personal de forma equilibrada para cubrir los turnos cumpliendo con la mínima cantidad de técnicos por turno?
- ¿Qué estrategias pueden implementarse para reducir los tiempos de empalme y reducir el uso de recursos logísticos como el transporte?
- ¿Qué impacto tendrá el rediseño de los turnos en el bienestar del equipo y en los costos operativos de la OMA?

Este trabajo busca desarrollar una investigación práctica que analice cómo la reducción de la jornada laboral afecta las operaciones de mantenimiento y ofrezca soluciones viables para ajustar los turnos, manteniendo el cumplimiento normativo y garantizando la eficiencia operativa y el bienestar de los trabajadores.

### **Justificación**

La implementación de un sistema de turnos revisado en la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) es crucial para adaptarse a los cambios en la legislación laboral de Colombia, que reducirá progresivamente la jornada laboral a 42 horas semanales. Esta modificación legislativa afectará de manera directa a la OMA, cuya operación de mantenimiento de aeronaves requiere la presencia continua de técnicos altamente calificados, tanto en los períodos de tránsito como en turnos nocturnos. La adaptación a esta nueva jornada laboral es indispensable para asegurar que la OMA mantenga la cobertura operativa sin comprometer la calidad del servicio ni la eficiencia en la ejecución de los mantenimientos (Alonso, 2023). El incumplimiento de estas nuevas disposiciones podría generar demoras

operativas, aumentar los costos y afectar el rendimiento de los procesos (Rodríguez Quintero, 2023).

Este estudio no solo pretende garantizar el cumplimiento de la normativa, sino también mejorar la experiencia laboral y el bienestar del equipo técnico a través de una distribución adecuada de los turnos y la minimización de los tiempos de empalme entre los diferentes turnos. La rotación de turnos, en especial durante las noches, puede tener repercusiones en la salud de los trabajadores, lo que afecta directamente su rendimiento y bienestar. Diversos estudios han documentado que una programación eficiente de los turnos contribuye a reducir los efectos negativos de los turnos nocturnos, como la fatiga y los trastornos del sueño, mejorando así la productividad del personal (Salas, Muñoz, Turizo & Claros, 2022). La implementación de un sistema flexible de horas laborales que permita a los técnicos ajustar sus horarios de trabajo puede minimizar los efectos negativos del agotamiento y mejorar su bienestar (Gan et al., 2024). Por lo tanto, al reducir al máximo los tiempos de empalme entre turnos, la organización se beneficia directamente, ya que la presencia prolongada de técnicos entre turnos puede generar tiempos muertos que afectan la productividad operativa. Minimizar estos tiempos no solo mejora la continuidad operativa, sino que también mejora el uso de los recursos y reduce los costos asociados con el tiempo no productivo (Espinosa Buelvas, León Vargas, & Alvarado, 2023).

A nivel económico, la adecuada gestión de recursos logísticos, como el transporte, junto con la reducción de los tiempos de empalme, permitirá disminuir los costos operativos, optimizando la asignación de personal sin generar gastos adicionales innecesarios. La flexibilidad en los horarios de trabajo, junto con una mejor organización en el transporte, puede ayudar a reducir costos operativos significativos, como lo muestran estudios en otros sectores donde la mejora en la programación de turnos y la adaptación de los horarios laborales resultó en una disminución de los costos logísticos y en una mejora del rendimiento organizacional (Ma et al., 2024). El sector aeronáutico enfrenta altos costos operativos, los cuales pueden verse

reducidos mediante la adopción de la nueva legislación, lo que hace que una gestión eficiente de los turnos sea crucial para garantizar la sostenibilidad financiera de la OMA. Esto permitirá que la organización se mantenga competitiva sin sacrificar la calidad de su servicio (Rodríguez Quintero, 2023). Un sistema de turnos bien estructurado no solo mejora la eficiencia en el uso de los recursos, sino que también contribuye a reducir los costos generales, permitiendo a la empresa maximizar su capacidad operativa sin incurrir en gastos innecesarios.

Este estudio tiene el potencial de ser una referencia para otras organizaciones de mantenimiento o sectores que enfrenten situaciones similares, especialmente aquellos con demandas operativas cambiantes o que deban cumplir con normativas laborales ajustadas. Con un análisis riguroso y un diseño adaptable de turnos, este trabajo no solo responde a las necesidades específicas de la OMA, sino que también ofrece soluciones valiosas que pueden aplicarse a una variedad de industrias, mejorando la eficiencia y el bienestar de los empleados en contextos laborales similares (Salas, Muñoz, Turizo & Claros, 2022).

Además de los beneficios operativos, la gestión adecuada de los turnos también tiene un impacto significativo en la calidad de vida laboral (QWL) de los trabajadores. Según del Pilar Quiñones-Rozo et al. (2024), la satisfacción en el trabajo y la reducción de los riesgos psicosociales, como la fatiga y el estrés laboral, son esenciales para mantener a los empleados motivados y comprometidos con sus tareas. La optimización de los turnos, especialmente en el contexto de los turnos nocturnos y la rotación de horarios, puede contribuir a reducir el agotamiento y mejorar la experiencia laboral de los técnicos de mantenimiento. De acuerdo con su estudio, la integración de prácticas que promuevan el equilibrio entre la carga de trabajo y el descanso adecuado puede ayudar a prevenir el agotamiento y aumentar la satisfacción laboral de los empleados, lo cual se traduce en una mayor eficiencia y menor rotación de personal.

La investigación también señala que los factores psicosociales, como el manejo de los tiempos de descanso y la distribución equitativa de los turnos, tienen una relación directa con la

intención de los empleados de permanecer en su puesto de trabajo. Esto es crucial para la OMA, ya que al implementar un sistema de turnos que no solo cumpla con los requerimientos normativos, sino que también minimice los riesgos psicosociales, se podría lograr mayores niveles de bienestar y compromiso del personal (del Pilar Quiñones-Rozo et al., 2024).

### **Análisis de Requerimientos**

Para desarrollar una estructura de turnos alternativa en la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA), es fundamental definir y analizar los requerimientos iniciales. Este análisis proporciona una base sólida para el diseño del sistema de turnos, estableciendo especificaciones clave y evitando cambios de última hora. A continuación, se detallan los elementos de este análisis:

#### **Intención del Producto:**

- **Propósito:** El proyecto busca diseñar al menos dos estructuras de turnos alternativas que permitan a la OMA cumplir con la reducción de la jornada laboral semanal a 42 horas para el año 2026, asegurando la cobertura operativa continua y el bienestar del equipo.
- **Objetivos del sistema:** Mantener una disponibilidad estable de técnicos especializados, especialmente en turnos nocturnos, y reducir los costos operativos mediante estrategias para minimizar los tiempos de empalme y reducir el uso del servicio de transporte. Además, garantizar una distribución equitativa de técnicos con especialidades específicas en cada grupo de trabajo.
- **Beneficios esperados:** Una estructura de turnos que, además de cumplir con la normativa, mejore la continuidad operativa, distribuya de manera equilibrada la carga laboral, incremente la satisfacción del equipo y reduzca costos logísticos.

**Verificación de Parámetros de Diseño:**

- **Disponibilidad de personal:** Garantizar que cada propuesta contemple el mínimo de técnicos requeridos por turno (3 en turnos diurnos y 15 en el turno nocturno, teniendo presente que la base cuenta con 36 técnicos), considerando la rotación adecuada y los descansos necesarios para mantener la operatividad sin sobrecargar al personal.
- **Distribución de especialidades:** Asegurar que cada propuesta incluya una distribución equilibrada de técnicos especializados en los grupos de trabajo, cubriendo las necesidades operativas críticas, especialmente en los turnos nocturnos.
- **Rotación de turnos:** Diseñar propuestas que consideren una rotación justa y equitativa, cumpliendo con la reducción gradual de horas laborales y garantizando los descansos adecuados para evitar la fatiga laboral.
- **Eficiencia de transporte:** Evaluar cómo cada propuesta integra la reducción del uso del servicio de transporte ofrecidos por la OMA, minimizando el uso de recursos logísticos.

**Estimación de Características de Diseño o Especificaciones del Producto:**

- **Desempeño y cobertura:** Las propuestas deben permitir que la OMA mantenga una cobertura completa en turnos críticos y una disponibilidad adecuada de técnicos especializados. Esto incluye garantizar la continuidad operativa en el día, con los tránsitos de las aeronaves, como en la noche con los trabajos programados.
- **Equilibrio en la carga laboral:** Proponer una distribución equitativa de técnicos en cada turno que reduzca la carga individual, garantizando descansos suficientes y minimizando la fatiga, especialmente en turnos nocturnos.
- **Costos operativos:** Identificar estrategias en cada propuesta para disminuir los costos asociados a los cambios de turno, como la reducción de tiempos de empalme y un uso

más reducido del servicio de transporte. Estas estrategias deben enfocarse en hacer que las estructuras de turnos sean viables y sostenibles económicamente.

- **Adaptabilidad a normativas futuras:** Las propuestas deben ser flexibles para ajustarse a posibles cambios futuros en la normativa laboral, evitando rediseños mayores y asegurando la estabilidad del sistema a largo plazo.

## Marco de Referencia

### Teorías sobre Gestión de Turnos y Productividad

El diseño de turnos es un componente esencial en la gestión de recursos humanos, particularmente en sectores con operación continua, como el mantenimiento aeronáutico, donde los trabajadores deben estar disponibles de forma constante para garantizar la seguridad y la eficiencia operativa. Según Kogi y Härmä (2017), los turnos rotativos y nocturnos tienen un impacto directo en los ritmos circadianos de los trabajadores, lo que puede inducir trastornos del sueño, fatiga y una disminución de la productividad. Esta disminución no solo afecta la salud física, sino también la capacidad cognitiva de los empleados, lo que implica una menor precisión en la ejecución de tareas críticas. La alteración del ritmo circadiano es un factor determinante que influye en la toma de decisiones rápidas y precisas, algo crucial en sectores como el mantenimiento aeronáutico, donde los errores pueden tener consecuencias graves (Pereira & Lopes, 2022).

La implementación de turnos saludables, que incluyan períodos adecuados de descanso y rotación de tareas, es fundamental para mitigar el impacto negativo de estos turnos. Costa (2020) argumenta que estos sistemas deben ser diseñados para minimizar los efectos adversos en la salud de los trabajadores y, al mismo tiempo, optimizar el rendimiento organizacional. Según el mismo autor, el equilibrio adecuado entre trabajo y descanso

contribuye significativamente a aumentar la productividad y a mejorar el bienestar general de los empleados, lo que, a su vez, favorece la eficiencia operativa en el largo plazo.

Smith, Lee y Thompson (2020) coinciden en que un sistema de turnos bien equilibrado mejora tanto la satisfacción laboral como el desempeño de los trabajadores. Un diseño adecuado de los turnos no solo facilita un entorno de trabajo más saludable, sino que también promueve la cohesión grupal y una mayor motivación entre los empleados. Además, el establecimiento de turnos que permitan un descanso adecuado favorece el compromiso organizacional, lo cual es esencial para reducir el ausentismo y la rotación de personal, dos problemas comunes en entornos laborales con turnos exigentes.

La rotación equitativa de tareas y descansos, tal como sugiere Wright, Brown y Díaz (2019), también es clave para reducir el ausentismo y aumentar la eficiencia operativa. Cuando los turnos se estructuran de manera que todos los empleados participen en una distribución justa de las cargas de trabajo y los períodos de descanso, se logra un ambiente de trabajo más justo y equilibrado. Esta rotación no solo mejora el bienestar de los trabajadores, sino que también optimiza los recursos de la empresa, ya que los empleados descansados son más productivos y cometen menos errores.

No obstante, el trabajo nocturno sigue siendo uno de los mayores desafíos. La interrupción del sueño y la alteración del ritmo circadiano incrementan la probabilidad de cometer errores laborales. Williams (2019) destaca que, en sectores críticos como el mantenimiento aeronáutico, los turnos nocturnos pueden ser peligrosos debido a la disminución de la atención y los fallos humanos. La falta de descanso adecuado puede afectar la capacidad cognitiva y aumentar el riesgo de accidentes laborales, especialmente en tareas complejas que requieren alta concentración y precisión.

Además, la desincronización circadiana, provocada por turnos prolongados y nocturnos, genera un impacto negativo en la salud. Guénel y Léger (2023) afirman que estos trastornos pueden dar lugar a problemas de salud a largo plazo, como obesidad, diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares. Estos problemas no solo afectan el rendimiento físico de los trabajadores, sino también su capacidad cognitiva y su estado de alerta, lo cual es fundamental en sectores con alta demanda operativa. La fatiga acumulada puede reducir la capacidad de los trabajadores para tomar decisiones rápidas y eficaces, aumentando la probabilidad de errores y accidentes, lo que afecta la seguridad operativa.

El diseño deficiente de los sistemas de turnos, como los cambios rápidos o las rotaciones inversas, puede agravar estos problemas. Según Crowther et al. (2022), los trabajadores nocturnos experimentan reducciones significativas en la duración del sueño y un aumento en los niveles de fatiga acumulada. Este aumento de la fatiga exagera los riesgos de errores y accidentes laborales, lo que afecta la eficiencia operativa y la seguridad en el lugar de trabajo. La fatiga acumulada no solo disminuye la productividad, sino que también pone en peligro el bienestar de los empleados y la seguridad general de las operaciones.

### ***Incorporación de nuevas tecnologías:***

La gestión de turnos puede beneficiarse significativamente de la integración de tecnologías avanzadas como los algoritmos de optimización. Herramientas como algoritmos genéticos y simulaciones de Monte Carlo permiten a las empresas simular diferentes configuraciones de turnos y elegir la más eficiente en términos operativos y de salud. Según Jiang et al. (2023), estos modelos matemáticos y algoritmos de optimización dinámica permiten ajustar los turnos en función de las condiciones cambiantes, como la disponibilidad de los trabajadores o emergencias imprevistas, asegurando así una asignación de recursos más eficiente y reduciendo la fatiga acumulada.

## **Normativa Laboral en Colombia y Cumplimiento Legal**

En Colombia, la Ley 2101 de 2021 establece una reducción progresiva de la jornada laboral semanal de 48 a 42 horas, a implementarse completamente para el año 2026. Esta normativa tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de los trabajadores y reducir el estrés asociado con largas jornadas laborales (Ministerio del Trabajo, 2021). Según Muñoz (2022), este cambio normativo implica la necesidad de rediseñar sistemas de turnos para cumplir con las nuevas exigencias legales, garantizando al mismo tiempo la eficiencia operativa.

La reducción de la jornada laboral no solo busca mejorar las condiciones de salud de los trabajadores, sino también contribuir a la reducción de la fatiga y a un mejor aprovechamiento del tiempo de descanso. El trabajo nocturno ha sido identificado como un factor significativo que incrementa los niveles de fatiga y puede generar serias consecuencias en la salud de los trabajadores (Restrepo, 2014). Cubillos y López (2019) afirman que en trabajos de turnos largos y nocturnos, el estrés y la fatiga pueden afectar la productividad laboral y aumentar la probabilidad de errores críticos, especialmente en industrias de alto riesgo como la aviación.

El Decreto 1072 de 2015 regula la seguridad y salud en el trabajo, destacando la importancia de proteger a los empleados de los riesgos asociados con turnos prolongados y nocturnos (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015). Esta regulación se complementa con recomendaciones internacionales que sugieren mejores prácticas para la reorganización de turnos, enfocándose en los beneficios del descanso adecuado y la prevención de la fatiga laboral (OACI, 2022).

Vargas (2021) subraya que las empresas de operación continua deben desarrollar estrategias innovadoras para reorganizar sus turnos, manteniendo la eficiencia operativa sin comprometer el cumplimiento normativo. La Ley 1610 de 2013, en su artículo 179 del Código Sustantivo del Trabajo, establece que los trabajadores tienen derecho a un día de descanso

remunerado por cada seis días consecutivos de trabajo. Este descanso semanal puede trasladarse a otro día si las necesidades de la operación lo exigen, siempre y cuando el empleador lo compense adecuadamente (Ministerio del Trabajo, 2013). Aunque esta disposición no menciona específicamente a los técnicos aeronáuticos, las empresas de operación continua suelen aplicar esta normativa para garantizar el bienestar del personal y evitar el agotamiento laboral.

En el caso del personal técnico aeronáutico, las mejores prácticas internacionales, como las recomendaciones de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), sugieren respetar períodos regulares de descanso para evitar errores asociados a la fatiga. Estas prácticas están respaldadas por el Decreto 1072 de 2015, que exige a los empleadores implementar medidas para prevenir riesgos laborales, incluyendo el diseño adecuado de turnos rotativos y nocturnos (OACI, 2022; Ministerio de Salud y Protección Social, 2015).

Además, Alonso (2023) recalca que la jornada laboral más corta puede reducir el estrés y la fatiga en los trabajadores, mejorando la productividad en sectores de alta demanda, como se puede asumir en el mantenimiento aeronáutico. Esta reducción de horas no solo optimiza la salud del trabajador, sino también la calidad de los servicios prestados.

### **Ingeniería de Sistemas de Turnos y Eficiencia Operacional**

La ingeniería de sistemas de turnos utiliza modelos matemáticos para optimizar la asignación de recursos en sectores de operación continua. Fraser y Charles (2019) emplearon simulaciones de Monte Carlo para analizar diferentes configuraciones de turnos, demostrando una reducción significativa en costos operativos. Malhotra y Ravi (2018) aplicaron modelos de programación lineal en el mantenimiento industrial, evidenciando mejoras en la eficiencia operativa mediante la optimización de turnos, especialmente en sectores de trabajo nocturno.

González y Rivera (2020) sostienen que la equidad en la distribución de tareas es fundamental para evitar la sobrecarga laboral, mientras que Blake (2018) argumenta que los

turnos eficientes promueven tanto la sostenibilidad operativa como el bienestar del equipo. Además, Herrera y Molina (2020) destacan la importancia de capacitar a los empleados para adaptarse a horarios variables, asegurando una transición fluida hacia nuevos sistemas de turnos, especialmente en ambientes de alta demanda operativa como el mantenimiento aeronáutico.

Por otra parte, los problemas de programación de sistemas flexibles de turnos (FJSP, por sus siglas en inglés) se caracterizan por la complejidad de asignar operaciones a recursos con múltiples restricciones y objetivos. Según Jiang et al. (2023), estos problemas pueden resolverse mediante algoritmos exactos y técnicas avanzadas como heurísticas y metaheurísticas. En particular, destacan los algoritmos genéticos y la optimización por enjambre de partículas (PSO), que han demostrado ser efectivos en escenarios con restricciones dinámicas y alta variabilidad, aplicables a sectores como el mantenimiento aeronáutico y la atención en servicios continuos.

Además, Jiang et al. (2023) subrayan la importancia de integrar estrategias de reprogramación dinámica en los sistemas de turnos. Esto permite responder de manera eficiente a eventos impredecibles, como cambios en la disponibilidad del personal o interrupciones en los recursos, minimizando las interrupciones y maximizando el uso eficiente de los recursos disponibles. En este contexto, la optimización dinámica se presenta como un factor clave en la mejora continua de los sistemas de turnos, particularmente en sectores de alta exigencia operativa.

La integración de tecnologías avanzadas como algoritmos de optimización dinámica y modelos predictivos es otro campo emergente que podría revolucionar la gestión de turnos. A medida que los conjuntos de datos se expanden y se integran, la medición de la productividad y el impacto en la salud de los empleados podría abordarse con mayor precisión, permitiendo una mejor toma de decisiones en la programación de turnos (Liu et al., 2023). Sin embargo, como señalan los estudios de Liu et al. (2023), la falta de datos exhaustivos y la complejidad de

los métodos empíricos aún representan limitaciones significativas para alcanzar conclusiones definitivas en este campo.

Finalmente, los métodos metaheurísticos no solo abordan problemas de gran escala, sino que también logran un equilibrio entre el tiempo de cómputo y la calidad de las soluciones. Zaman et al. (2019) subrayan que estas técnicas de optimización permiten mejorar significativamente la eficiencia operativa en sistemas complejos, lo cual es crucial para sectores que demandan alta precisión y eficiencia, como el mantenimiento aeronáutico. La implementación de estas técnicas en dichos sectores podría transformar la forma en que se diseñan y gestionan los sistemas de turnos, alineándose con los objetivos de eficiencia operativa y bienestar del equipo.

### **Métodos Empíricos y Limitaciones en la Gestión de Turnos**

En la gestión de turnos y la productividad laboral, la utilización de datos empíricos para medir el impacto de los diferentes modelos de turnos sigue siendo limitada. A pesar del crecimiento de los grandes conjuntos de datos que permiten rastrear patrones de productividad y salud de los empleados, como lo discuten Liu et al. (2023), los estudios empíricos sobre el diseño de turnos en sectores críticos como el mantenimiento aeronáutico no son suficientemente amplios ni sistemáticos. Los métodos empíricos en esta área se han centrado en observar regularidades y patrones generales, como la relación entre los turnos nocturnos y la calidad de vida laboral (AL-hrinat et al., 2024), pero la aplicabilidad de estos resultados a sectores específicos sigue siendo incierta debido a las limitaciones en los datos disponibles.

Un desafío clave es la validación de los datos empíricos. Según Liu et al. (2023), las mediciones y los métodos empíricos deben ser cuidadosamente evaluados para evitar sesgos o conclusiones erróneas debido a la selección de datos o a limitaciones inherentes en los métodos utilizados. En muchos estudios, la falta de bases de datos amplias y abiertas genera desigualdad en el acceso a la información, lo que limita la replicabilidad de los estudios y la

capacidad de generalizar los hallazgos a otros contextos, como el mantenimiento aeronáutico. A pesar de estos desafíos, la creciente disponibilidad de nuevas métricas y herramientas analíticas podría ofrecer una visión más detallada y precisa de los efectos de los turnos rotativos y nocturnos en la productividad y el bienestar de los trabajadores.

Un ejemplo relevante es el trabajo de Burney et al. (2024), quienes sugieren que la aplicación de métodos cualitativos, como entrevistas y encuestas, puede complementar los análisis cuantitativos y mejorar la robustez de los hallazgos, especialmente cuando se enfrenta a la variabilidad de los datos en ambientes laborales complejos. Estos métodos empíricos permiten obtener una perspectiva más profunda sobre cómo los trabajadores perciben y reaccionan ante la programación de los turnos, lo que puede contribuir a la creación de sistemas de turnos más efectivos y adaptados a las necesidades individuales.

### **Investigaciones Previas y Estudios de Caso en Estructuras de Turnos**

Los estudios de caso han proporcionado evidencia empírica sobre los beneficios de los sistemas de turnos adaptativos. Barrios y Téllez (2021) analizaron una empresa de mantenimiento aeronáutico que implementó turnos flexibles, observando una mejora del 15% en la productividad. Martínez y Blanco (2020) reportaron que los turnos equitativos redujeron el ausentismo laboral en un 12% y mejoraron la satisfacción de los trabajadores. Según Garzón Franco (2023), los sistemas de turnos adaptativos permiten no solo una mayor flexibilidad en los horarios, sino también una optimización de la asignación de recursos, lo que contribuye a un aumento general de la productividad.

Por otro lado, Carvajal y Méndez (2021) documentaron cómo un sistema de turnos adaptativos en una empresa de mantenimiento industrial redujo los costos de transporte en un 10%, lo que refleja el impacto positivo que una gestión flexible de turnos puede tener no solo en la productividad, sino también en la reducción de costos operativos asociados a la logística. Azevedo y Oliveira (2019) concluyen que la alineación de turnos con normativas laborales no

solo asegura el cumplimiento legal, sino que también mejora significativamente la eficiencia operativa y la sostenibilidad organizacional.

En este contexto, el estudio de Borreguero-Sanchidrián et al. (2024) en líneas de ensamblaje aeronáuticas ofrecen un enfoque táctico para la asignación de recursos humanos en ambientes complejos. La implementación de técnicas como la búsqueda en vecindarios amplios (LNS) y modelos de programación lineal de enteros mixtos (MILP) permite optimizar la planificación de tareas bajo restricciones de tiempo y recursos, mejorando significativamente la asignación de operadores y reduciendo los picos de demanda de recursos humanos. Este enfoque destaca la importancia de considerar perfiles de operadores y modos de ejecución para minimizar el uso total de recursos durante un ciclo de producción, lo cual podría adaptarse eficazmente a sistemas de turnos adaptativos para sectores como el mantenimiento aeronáutico (Borreguero-Sanchidrián et al., 2024).

Además, los resultados sugieren que integrar métodos heurísticos avanzados en sistemas de planificación de turnos podría superar las limitaciones de los métodos tradicionales, como las hojas de cálculo, ofreciendo soluciones más sostenibles y eficientes en entornos industriales altamente especializados. Este tipo de soluciones no solo mejoran la operatividad, sino que también contribuyen al bienestar de los empleados al reducir los picos de estrés y mejorar la calidad del trabajo (Morales, 2021).

### **Normas de Ingeniería Aplicables**

Las normas internacionales, como la ISO 10075 y la ISO 45001, establecen directrices esenciales para minimizar los riesgos ergonómicos y de salud asociados con turnos prolongados. Estas normas son fundamentales para garantizar la sostenibilidad operativa en sectores críticos, como el mantenimiento aeronáutico, donde la seguridad y el bienestar de los empleados son esenciales para la eficiencia operativa. La ISO 10075, por ejemplo, establece recomendaciones sobre cómo estructurar los turnos para reducir la fatiga cognitiva y física, lo

que es crucial en actividades que requieren alta precisión y toma de decisiones rápidas, como el mantenimiento de aeronaves (International Organization for Standardization, 2018).

La ISO 45001 se centra en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Esta norma facilita la creación de un entorno laboral seguro y saludable al proporcionar un marco para la identificación de riesgos y la implementación de medidas preventivas. Según Helmold et al. (2023), la implementación de principios de *Lean Management* en la aviación, en combinación con normativas internacionales como la ISO 45001, ha demostrado ser efectiva para mejorar la seguridad ocupacional y optimizar los recursos humanos. El enfoque Lean reduce significativamente los desperdicios en procesos críticos, como las operaciones de mantenimiento y reparación (MRO), y fomenta la creación de un entorno laboral más seguro y sostenible, alineado con estándares internacionales de gestión de riesgos.

La ANSI Z15.1 regula la seguridad de los empleados durante los desplazamientos asociados a turnos nocturnos, un aspecto particularmente relevante para las operaciones de la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA), que a menudo requiere que los empleados se desplacen durante la noche. Esta norma se asegura de que se implementen medidas de seguridad adecuadas para prevenir accidentes durante los desplazamientos, lo que es crucial para preservar la seguridad del personal en el sector aeronáutico (Silva & González, 2020).

Según López y Martínez (2019), el cumplimiento de estas normativas mejora la seguridad en el trabajo y promueve un entorno laboral más saludable. Además, Helmold et al. (2023) destacan que la integración de prácticas *Lean* con normativas internacionales también facilita la adopción de herramientas de mejora continua, como el análisis de causas raíz y la gestión visual, que aseguran la conformidad con estándares como la ISO 45001. Esto no solo fortalece la seguridad, sino que también incrementa la eficiencia operativa, reduciendo tiempos de inactividad en las actividades críticas de mantenimiento técnico.

En términos ergonómicos, el enfoque *Lean* apoya la implementación de normas como la ISO 10075, ya que su énfasis en la simplificación de procesos y la eliminación de sobrecargas

cognitivas contribuye a un entorno laboral más saludable. Este enfoque es particularmente relevante en sectores como la aviación, donde la precisión y el rendimiento técnico son esenciales. Las normativas internacionales proporcionan un marco para garantizar que las condiciones laborales estén alineadas con las mejores prácticas en ergonomía y seguridad, lo que permite a las empresas mantener altos estándares de productividad sin comprometer el bienestar de sus trabajadores.

La combinación de estas normas internacionales con principios de gestión avanzada, como *Lean Management*, demuestra cómo las regulaciones pueden integrarse con enfoques operativos modernos para mejorar tanto la seguridad como la eficiencia en sectores críticos.

## **Análisis de Restricciones**

### **Restricciones Ambientales**

El proyecto tiene como intención reducir la cantidad de días que los técnicos deben asistir a las instalaciones, lo que disminuiría el uso del transporte proporcionado por la empresa y, con ello, las emisiones de CO<sub>2</sub>. Esto se alinea con las directrices de sostenibilidad planteadas en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) locales y las estrategias nacionales de mitigación de impacto ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). Además, esta reducción contribuiría al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad corporativa, optimizando el uso de recursos energéticos y promoviendo un enfoque ambientalmente responsable.

Aunque el proyecto no involucra directamente materiales o sustancias peligrosas, las operaciones nocturnas conllevan un consumo energético adicional. Según Smith, Lee y Thompson (2020), estrategias como la disminución de días laborales reducen indirectamente la huella de carbono y contribuyen a los esfuerzos globales para alcanzar la neutralidad de carbono.

## Restricciones Económicas

El análisis económico inicial plantea como objetivo identificar al menos dos propuestas de secuencias fijas que se adapte a las restricciones identificadas. Una secuencia fija permitiría a la empresa evitar la inversión en software especializado, ya que el proyecto entregaría una solución estática viable. Sin embargo, si el análisis determina que la mejor opción es dinámica, podría ser necesaria la implementación de tecnologías avanzadas de automatización de turnos.

Fraser y Charles (2019) señalan que el uso de simulaciones para diseñar secuencias eficientes puede reducir los costos operativos al optimizar los recursos disponibles. Además, Malhotra y Ravi (2018) destacan que, en sectores críticos como el mantenimiento industrial, los sistemas de turnos dinámicos mejoran la eficiencia operativa a largo plazo, compensando los costos iniciales de implementación.

El marco macroeconómico actual en Colombia, caracterizado por presiones inflacionarias y altos costos logísticos, también representa un desafío. Según el Banco de la República (2023), el aumento de los costos en transporte y servicios refuerza la necesidad de optimizar los recursos disponibles.

## Restricciones Legales

El diseño del sistema debe cumplir con las normativas legales, destacándose:

1. **Ley 2101 de 2021:** La reducción de la jornada laboral a 42 horas semanales debe ser implementada gradualmente sin afectar la cobertura operativa (Ministerio del Trabajo, 2021).
2. **Decreto 1072 de 2015:** Las disposiciones sobre seguridad y salud en el trabajo exigen que los turnos respeten los tiempos de descanso necesarios para prevenir riesgos laborales (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015).

3. **Normas internacionales:** La ISO 45001 establece lineamientos para garantizar un entorno seguro en trabajos rotativos y nocturnos (International Organization for Standardization, 2018).

El cumplimiento de estas normativas no solo evita sanciones legales, sino que también asegura un ambiente de trabajo que prioriza el bienestar de los empleados. Según López y Martínez (2019), integrar estándares internacionales en sistemas de turnos mejora significativamente la percepción de seguridad y el desempeño laboral.

### **Restricciones de Salud y Seguridad**

Reducir la cantidad de días de asistencia al trabajo puede tener un impacto positivo en la salud de los técnicos. Smith, Lee y Thompson (2020) destacan que la frecuencia de desplazamientos prolongados y la exposición a turnos nocturnos están asociados con mayores niveles de estrés y fatiga.

Además, Wright, Brown y Díaz (2019) señalan que los sistemas de turnos que respetan tiempos de recuperación adecuados entre jornadas laborales reducen significativamente los riesgos asociados a errores humanos, especialmente en sectores críticos como el mantenimiento aeronáutico. Este proyecto debe garantizar que los descansos entre turnos sean suficientes para prevenir trastornos relacionados con la falta de sueño y mejorar la calidad de vida de los trabajadores.

### **Restricciones Socioculturales**

La disminución de días de asistencia responde a las preferencias de los técnicos, quienes valoran horarios laborales más flexibles que les permitan atender responsabilidades personales y familiares. Según Williams (2019), los cambios hacia modelos laborales más equilibrados aumentan la satisfacción de los empleados y reducen la rotación de personal, mejorando así la estabilidad operativa.

## Restricciones Internas

1. **Disponibilidad de capital:** Si se encuentra una solución fija eficiente, la empresa evitará la inversión en software adicional, optimizando su presupuesto. En cambio, si la mejor solución es dinámica, los costos de implementación de tecnología avanzada deben evaluarse en función de su impacto a largo plazo (Fraser & Charles, 2019).
2. **Capacidad tecnológica:** La empresa actualmente no utiliza herramientas avanzadas para la planificación de turnos, por lo que una solución fija facilitaría la implementación. Sin embargo, una solución dinámica podría requerir la adquisición de software especializado y capacitación del personal.
3. **Mano de obra:** La reducción de días laborales exige una asignación eficiente de técnicos calificados en cada turno. Esto debe garantizar que se cumplan los requisitos mínimos operativos en los turnos nocturnos, que demandan mayor cobertura de personal especializado.

## Conclusión del Análisis

El diseño del sistema de turnos debe priorizar una secuencia fija, que permita reducir los días de asistencia de los técnicos, optimizando recursos y cumpliendo con las normativas legales, económicas y de salud. Una solución fija es preferible desde el punto de vista de los costos iniciales, aunque se debe considerar la opción de una solución dinámica si los beneficios superan los costos.

La implementación exitosa requerirá equilibrar las restricciones ambientales, económicas, legales y sociales, garantizando un sistema que maximice la eficiencia operativa mientras prioriza el bienestar del personal.

## Metodología

### 1. Revisión de Soluciones Iniciales: Restricciones Establecidas

El primer paso para optimizar el sistema de turnos en la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) es definir claramente las restricciones que guiarán el diseño de las secuencias preliminares. Estas restricciones están alineadas con los objetivos del proyecto, las normativas vigentes y las necesidades operativas de la empresa.

#### *Restricciones Laborales y Normativas*

- **Máximo de 42 horas semanales:** Cumplir con la Ley 2101 de 2021, que establece la reducción de la jornada laboral semanal a 42 horas para 2026 (Ministerio del Trabajo, 2021).
- **Mínimo de 1 día de descanso semanal:** Respetar las normativas laborales vigentes que garantizan al menos un día de descanso por semana.
- **Máximo de horas trabajadas diarias:** Según la legislación laboral colombiana, la jornada laboral diaria no puede superar las **12 horas**, incluyendo las horas extras (Ministerio del Trabajo, 2021).
- **Restricción de horas extras:**
  - El total de horas extras semanales no puede exceder **12 horas**.
  - El máximo de horas extras diarias permitidas es de **2 horas**.
  - Esto implica que, en cualquier día con horas extras, la jornada diaria máxima será de **12 horas** (10 horas regulares + 2 horas extras).

#### *Restricciones Operativas*

- **Distribución en Grupos:**

- Los técnicos se organizarán en grupos para facilitar la rotación y garantizar la equidad en los horarios.
- Asegurar que los turnos nocturnos tengan la misma cantidad de grupos rotando constantemente, sin fluctuaciones, para garantizar estabilidad operativa.
- **Secuencias que no sean múltiplos de 7:** Para garantizar la rotación de los días de descanso y evitar que estos se repitan siempre en los mismos días de la semana.
- **Cobertura diaria de los turnos:**
  - Cada día se deben cubrir los **tres turnos**: mañana, tarde y noche.
  - La proporción de técnicos por turno será:
    - **1/6 del total de técnicos** en el turno de mañana.
    - **1/6 del total de técnicos** en el turno de tarde.
    - **4/6 del total de técnicos** en el turno de noche, debido a los mayores requerimientos operativos durante este turno.
- **Distribución equitativa en el turno nocturno:**
  - En el turno nocturno debe asegurarse que siempre haya la misma cantidad de grupos rotando, garantizando una cobertura constante y equitativa para cumplir con los requisitos operativos. Esto asegura que todos los técnicos participen de manera justa en la carga de trabajo nocturno.

### ***Restricciones Históricas y Horas Anuales***

- **Reducción proporcional de horas anuales:**
  - Según los datos históricos de la OMA, el sistema actual cumplía con el **91.3%** de las horas anuales requeridas bajo la normativa de 48 horas semanales.

- Aplicando esta proporción al nuevo sistema, da un total de **2,190 horas anuales** que exige la normativa de 42 horas semanales. Aplicando la reducción histórica de la OMA, el **91,3%**, el mínimo de horas anuales a cumplir será de **2,000 horas anuales por técnico** (redondeando de 1,998.47).
- Teniendo en cuenta que el trabajo nocturno representa actualmente aproximadamente el 66% de la jornada laboral frente al 33% previo a la implementación del sistema *On Call*, se podría analizar en etapas posteriores una reducción proporcional adicional a la actualmente (91.3%), para compensar el aumento significativo en las noches trabajadas.

### ***Restricciones Adicionales***

- **Duración máxima de los turnos:**
  - Aunque la legislación permite hasta **12 horas diarias**, los turnos deberán preferiblemente tener una duración máxima de **9 horas**, ya que esto evita incurrir en horas extras, que podrían no ser rentables.
  - Sin embargo, si se demuestra que una configuración con turnos más largos (hasta 12 horas) es óptima y rentable, se evaluará su implementación.
- **Minimización de tiempos de empalme:**
  - El tiempo de empalme entre turnos debe ser eficiente, reduciéndose al mínimo posible necesario. Esto reduce costos operativos y evita ineficiencias, garantizando que los técnicos entrantes y salientes no coincidan más tiempo del necesario en sus actividades (Fraser & Charles, 2019; Wright, Brown, & Díaz, 2019).

## 2. Análisis del Máximo y Mínimo de Días Trabajados por Semana

En la búsqueda de una secuencia adecuada para el diseño de los turnos en la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA), se considera un rango de días trabajados por semana que cumpla con las restricciones legales, normativas y operativas. A continuación, se analizan las opciones posibles, identificando las ventajas y desventajas de cada configuración y seleccionando aquellas que serán evaluadas en las soluciones preliminares.

### **6 días trabajados por semana:**

Al trabajar 6 días por semana, las horas requeridas por día serían: **42 horas ÷ 6 días = 7 horas/día.**

Se propone una configuración con turnos de **7 horas, más 45 minutos de alimentación**, distribuidos en cuatro turnos al día para cubrir las 24 horas de operación. La distribución de los turnos sería la siguiente:

- **MOR (Mañana):** 04:00 - 11:45
- **AFT (Tarde):** 10:00 - 17:45
- **EVE (Tarde-Noche):** 16:00 - 23:45
- **LAT (Noche):** 22:00 - 05:45

Cada turno incluye **1 hora y 45 minutos de empalme** con el turno previo, considerando los 45 minutos de alimentación.

### **Ventajas:**

- **Cobertura completa de las 24 horas:** La asignación de cuatro turnos al día garantiza cobertura total sin interrupciones.
- **Cumplimiento legal:** Respetando la jornada diaria de 7 horas más tiempo de alimentación, se asegura que no se exceden las horas máximas permitidas.

**Desventajas:**

- **Empalmes excesivos:** Los empalmes de **1 hora y 45 minutos por turno** representan tiempos ociosos considerables, lo que reduce la eficiencia operativa y aumenta los costos laborales.
- **Mayor cantidad de días trabajados:** Trabajar 6 días a la semana implica un menor descanso semanal, lo que puede afectar la satisfacción y rendimiento del personal.

**Conclusión:** Aunque esta configuración cumple con las restricciones legales y garantiza cobertura operativa, los largos tiempos de empalme la hacen poco eficiente además que no se reduce la cantidad de días que se asiste al trabajo. Por estas razones, no se considera una opción óptima a menos que se pueda justificar su implementación en términos operativos, económicos y satisfacción laboral.

**5 días trabajados por semana:**

Al trabajar 5 días por semana, las horas requeridas por día serían: **42 horas ÷ 5 días = 8.4 horas/día.**

Esta configuración permite jornadas de 8 horas y 24 minutos, cumpliendo con el límite diario de 9 horas sin incurrir en horas extras. Además, facilita una distribución operativa eficiente, con tiempos suficientes para realizar empalmes efectivos entre turnos, y respeta las restricciones económicas y legales.

**Conclusión:** Esta opción se considera válida y óptima para su análisis en las secuencias preliminares.

**4 días trabajados por semana:**

Al trabajar 4 días por semana, las horas requeridas por día serían: **42 horas ÷ 4 días = 10.5 horas/día**

En esta configuración, las jornadas diarias exceden el límite de 9 horas, generando 1.5 horas extras por día. Aunque esta opción respeta el límite máximo de 12 horas diarias, implica costos adicionales por horas extras que deben ser evaluados además que no tiene las horas suficientes para cubrir las 24 horas con dos turnos e implementando tres turnos con este horario, el tiempo de empalme, asumiendo que el turno tiene una duración de 11 horas y 15 minutos, incluyendo 45 minutos de alimentación, generaría un total de 9 horas y 45 minutos de empalmes diarios. Esta configuración será considerada, pero su implementación dependerá de un análisis más profundo de su impacto económico.

**Conclusión:** Esta opción se considera válida, pero requiere un análisis detallado de su viabilidad económica antes de ser seleccionada ya que el excesivo tiempo de empalme lo hacen ineficiente.

### ***3 días trabajados por semana:***

Al trabajar 3 días por semana, las horas requeridas por día serían: **42 horas ÷ 3 días = 14 horas/día.**

Esta configuración supera ampliamente el límite legal diario de 12 horas, incluso considerando las horas extras permitidas. Por lo tanto, no es viable desde un punto de vista normativo.

**Conclusión:** Esta opción se descarta porque no cumple con las restricciones legales.

### ***Conclusión del Análisis***

El rango de días trabajados por semana se establece entre **4 y 6 días**, siendo estas las configuraciones viables para su evaluación:

- **6 días trabajados:** Turnos de 4 turnos diarios de 7 horas, cumpliendo con las restricciones legales, económicas y operativas. Aunque válida, requiere un análisis operativo detallado para determinar si el tiempo de empalme es válido. Sin embargo,

siguiendo los objetivos de reducir la cantidad de días que se asiste al trabajo, esta opción carece de fundamento.

- **5 días trabajados:** Turnos de 8 horas y 24 minutos diarios, cumpliendo con las restricciones legales, económicas y operativas. Esta configuración es óptima para la propuesta inicial.
- **4 días trabajados:** Turnos de 10 horas y 30 minutos diarios, excediendo las 9 horas regulares e incurriendo en 1.5 horas extras por día. Aunque válida, requiere un análisis económico y operativo detallado para determinar si los beneficios operativos compensan los costos adicionales y si se cumple con los objetivos planteados.
- **3 días trabajados:** La configuración de 3 días trabajados se descarta, ya que no cumplen con los requerimientos operativos y legales establecidos.

#### ***Evaluación Final de la Configuración de 4 Días Trabajados por Semana***

La configuración de **4 días trabajados por semana** con jornadas de **10 horas y 30 minutos diarios** ha sido analizada exhaustivamente para determinar su viabilidad dentro del diseño de turnos de la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA). A continuación, se presentan las conclusiones de este análisis.

**Empalme Operativo.** En un sistema de turnos fijos, el tiempo de empalme entre turnos se ve significativamente ampliado debido a la duración de las jornadas laborales:

- **Duración del empalme.** Con jornadas de 10 horas y 30 minutos, más 45 minutos de alimentación, los turnos completos serían de 11 horas y 15 minutos, donde si se generan 2 turnos diarios, quedaría la base sin estar cubierta 1 hora y 30 minutos. Y si se generan 3 turnos diarios para cubrir la base las 24 horas, generaría un empalme operativo de **3 horas y 15 minutos** por turno, sumando diariamente empalmes de **9 horas y 45 minutos**.

- **Impacto del empalme.** Este empalme excesivo no es eficiente, ya que el tiempo efectivo de trabajo se ve reducido y no se justifica, especialmente en los turnos de mañana y tarde donde las actividades son predominantemente *On Call*.
  - El tiempo de empalme prolongado genera costos operativos adicionales sin aportar beneficios proporcionales al desempeño general.
  - Y turnos más prolongados del pico de producción son ineficientes, donde el pico de producción normalmente se sitúa entre las 9 de la noche cuando los aviones empiezan a pernoctar, hasta las 4 de la mañana, que empieza a salir los primeros vuelos.

### **Secuencias Dinámicas**

Una alternativa para ajustar esta configuración sería implementar secuencias dinámicas, donde los turnos se desplacen en horarios escalonados para mantener una cobertura adecuada y ajustar los empalmes. Sin embargo, esta opción también presenta limitaciones operativas importantes:

- **Ejemplo de secuencia dinámica:**
  - Turno 1: 04:00 - 15:15
  - Turno 2: 14:30 - 01:45
  - Turno 3: 01:00 - 12:15
  - Turno 4: 11:30 - 22:45
  - Turno 5: 22:00 - 09:15
  - Turno 6: 08:30 - 19:45
- **Problemas de las secuencias dinámicas:**

- **Rotación constante:** Las secuencias dinámicas generan un corrimiento continuo de los turnos, lo que afecta la estabilidad y previsibilidad de los horarios para los técnicos.
- **Cobertura fija nocturna:** Garantizar una cobertura fija y constante en el turno nocturno es esencial para la operación. Sin embargo, con secuencias dinámicas, la proporción de grupos asignados a cada turno cambia constantemente, lo que dificulta la planificación operativa.
- **Proporción desigual de grupos:** Como la proporción de técnicos necesarios varía según el turno (1/6 en mañana, 1/6 en tarde, 4/6 en noche), las secuencias dinámicas no garantizan uniformidad en la distribución de recursos humanos.
- **Turnos fuera del pico de producción:** Los turnos dinámicos, al ir corriendo escalonadamente sus horarios de ingreso y salida, se situarían fuera del pico de producción.

Por estas razones, las secuencias dinámicas no resultan factibles para la OMA, ya que no garantizan una cobertura fija, especialmente en el turno nocturno, que requiere una mayor cantidad de técnicos en comparación con los otros turnos.

### ***Conclusión de la Revisión de Soluciones Iniciales***

De acuerdo con el análisis realizado, la configuración de 5 días trabajados por semana se presenta como la opción más adecuada para cumplir con las restricciones legales, normativas y operativas. Esta secuencia permite jornadas de 8 horas y 24 minutos, optimizando la distribución del tiempo de trabajo y asegurando cobertura operativa eficiente, sin incurrir en costos adicionales por horas extras. Por estas razones, la secuencia de 5 días trabajados será la base para el diseño de las soluciones preliminares, descartando la secuencia de 6 días debido a que no se alinea con el objetivo de reducir la cantidad de días que se asiste al trabajo.

### **3. Comparación con Soluciones Previas**

El diseño de sistemas de turnos en industrias similares ha sido objeto de análisis en diversos estudios y casos prácticos, los cuales ofrecen información valiosa para optimizar el modelo en la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA). A continuación, se presentan los hallazgos más relevantes obtenidos de la literatura científica y casos de éxito en la gestión de turnos:

#### ***Secuencias Estáticas en Operaciones Continuas***

Las secuencias estáticas, caracterizadas por horarios fijos y repetitivos, han demostrado ser efectivas en sectores donde la estabilidad operativa es clave. Por ejemplo, González y Rivera (2020) evaluaron sistemas de turnos fijos en plantas de producción industrial, concluyendo que este enfoque facilita la planificación operativa, reduce la carga administrativa y mejora la percepción de estabilidad entre los trabajadores.

Asimismo, Barrios y Téllez (2021) analizaron la implementación de turnos fijos en un entorno de mantenimiento aeronáutico, destacando que la predictibilidad de los horarios favoreció la reducción del ausentismo y mejoró la eficiencia en la asignación de tareas críticas. Este enfoque resulta especialmente útil en actividades nocturnas, donde la uniformidad en la distribución del personal es esencial.

Sin embargo, estudios como el de Blake (2018) advierten que los sistemas estáticos pueden limitar la flexibilidad necesaria para responder a picos de demanda, lo que podría representar un desafío en entornos altamente dinámicos como el mantenimiento aeronáutico.

#### ***Secuencias Dinámicas en Entornos de Alta Variabilidad***

Las secuencias dinámicas, que ajustan los horarios según la carga operativa, han sido ampliamente utilizadas en sectores como la salud y la logística, donde la demanda varía considerablemente. Según Malhotra y Ravi (2018), este enfoque permite optimizar el uso de recursos al alinear la asignación de personal con las fluctuaciones en la carga de trabajo.

No obstante, Fraser y Charles (2019) encontraron que las secuencias dinámicas pueden generar insatisfacción entre los empleados debido a la falta de predictibilidad en sus horarios, lo que afecta el equilibrio entre vida laboral y personal. Además, la complejidad administrativa de gestionar turnos dinámicos puede incrementar los costos operativos si no se cuenta con sistemas automatizados para su planificación.

En el caso de la OMA, donde las operaciones nocturnas tienen una carga crítica significativamente mayor que los turnos diurnos, las secuencias dinámicas presentan un desafío adicional: garantizar una proporción fija de técnicos en el turno nocturno (4/6 del total). Esta característica operativa limita la viabilidad de implementar sistemas dinámicos sin comprometer la cobertura mínima requerida.

### ***Comparación de Impacto Económico y Operativo***

González y Rivera (2020) documentaron que las secuencias estáticas reducen costos administrativos al simplificar la planificación de turnos, mientras que las dinámicas tienden a ser más costosas debido a la necesidad de herramientas avanzadas para su gestión. Por otro lado, Barrios y Téllez (2021) señalaron que los turnos estáticos son más adecuados en entornos con actividades críticas concentradas en horarios específicos, como ocurre en la OMA con el turno nocturno.

Sin embargo, Fraser y Charles (2019) destacaron que las secuencias dinámicas pueden ser beneficiosas en situaciones donde la demanda es altamente impredecible, aunque este no es el caso predominante en la OMA, donde los requerimientos operativos nocturnos son constantes.

### ***La Experiencia de la OMA***

Según un empleado con más de 30 años de experiencia en la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA), la secuencia 6-1, 6-1, 6-3 se ha utilizado de manera

consistente durante este tiempo. Inicialmente, cuando no existía el sistema *On Call*, la secuencia estaba estructurada con una rotación fija:

- Primera semana: turno de noche.
- Segunda semana: turno de tarde.
- Tercera semana: turno de mañana.

Este modelo permitía equilibrar las necesidades operativas con la estabilidad para los técnicos. Sin embargo, con la introducción del sistema *On Call*, se redujo la demanda de personal en los turnos de mañana y tarde, particularmente debido a la disminución de actividades relacionadas con los tránsitos de aeronaves en esos horarios.

Desde entonces, la mayor parte de las horas hombre se han concentrado en el turno nocturno, reflejando el cambio en las demandas operativas. Este cambio resalta la importancia de mantener una estructura que priorice la cobertura nocturna, asegurando la eficiencia operativa y reduciendo la carga excesiva para los técnicos asignados a este horario crítico.

### **Conclusión**

A partir de esta comparación, las secuencias estáticas se destacan como la opción más adecuada para la OMA, especialmente considerando:

- La necesidad de garantizar una cobertura fija en el turno nocturno.
- La importancia de la estabilidad operativa y la predictibilidad para los técnicos.
- La menor complejidad administrativa y económica en comparación con las secuencias dinámicas.

Estos hallazgos, junto con la experiencia histórica de la OMA, respaldan la elección de secuencias estáticas como base para el diseño del sistema de turnos, asegurando tanto la eficiencia operativa como el bienestar de los empleados.

#### 4. Generación de Alternativas Viables

Para seleccionar las mejores alternativas, se evaluarán secuencias que cumplen con los criterios normativos, técnicos y económicos, refinándolas a través de simulaciones. Los aspectos clave evaluados serán:

- **Rentabilidad económica:** Reducción de costos operativos relacionados con transporte y recursos energéticos (Banco de la República, 2023).
- **Sostenibilidad ambiental:** Minimización del impacto ambiental de los desplazamientos y optimización de los turnos nocturnos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022).
- **Impacto social:** Mejora de la calidad de vida y satisfacción del personal, validada con encuestas o retroalimentación directa (Smith, Lee, & Thompson, 2020).

#### ***Simulación y Evaluación: Secuencia de 6 días trabajados por semana***

Debido a que trabajar 6 días con turnos de 7 horas diarias no permite cubrir los turnos necesarios con solo tres por día, se añade un cuarto turno diario. Esto implica un ajuste en la rotación semanal, utilizando la secuencia:

**Primera rotación:** 6-1, 6-1, 6-1, 6-3 (LAT, EVE, AFT, MOR).

**Segunda rotación:** 6-1, 6-1, 6-1, 6-3 (LAT, LAT, LAT, LAT).

Tabla 1

## Simulación secuencia 6-1, 6-1,6-1,6-3

		G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	Cantidad de LAT en cada día
1	lunes	LAT	LAT	LAT	LAT		LAT	MOR	AFT	EVE		5
2	martes	LAT	LAT	LAT		LAT	LAT	MOR	AFT		EVE	5
3	miércoles	LAT	LAT		LAT	LAT	LAT	MOR		AFT	EVE	5
4	jueves	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	5
5	viernes	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	5
6	sábado	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	5
7	domingo		LAT	LAT	LAT	LAT		LAT	MOR	AFT	EVE	5
8	lunes	EVE	LAT	LAT	LAT		LAT	LAT	MOR	AFT		5
9	martes	EVE	LAT	LAT		LAT	LAT	LAT	MOR		AFT	5
10	miércoles	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	5
11	jueves	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	5
12	viernes	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	5
13	sábado	EVE		LAT	LAT	LAT	LAT		LAT	MOR	AFT	5
14	domingo		EVE	LAT	LAT	LAT		LAT	LAT	MOR	AFT	5
15	lunes	AFT	EVE	LAT	LAT		LAT	LAT	LAT	MOR		5
16	martes	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	5
17	miércoles	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	5
18	jueves	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	5
19	viernes	AFT	EVE		LAT	LAT	LAT	LAT		LAT	MOR	5
20	sábado	AFT		EVE	LAT	LAT	LAT		LAT	LAT	MOR	5
21	domingo		AFT	EVE	LAT	LAT		LAT	LAT	LAT	MOR	5
22	lunes	MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT		5
23	martes	MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT		5
24	miércoles	MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT		5
25	jueves	MOR	AFT	EVE		LAT	LAT	LAT	LAT		LAT	5
26	viernes	MOR	AFT		EVE	LAT	LAT	LAT		LAT	LAT	5
27	sábado	MOR		AFT	EVE	LAT	LAT		LAT	LAT	LAT	5
28	domingo		MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT	5
29	lunes		MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT	5
30	martes		MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	LAT	5
31	miércoles	LAT	MOR	AFT	EVE		LAT	LAT	LAT	LAT		5
32	jueves	LAT	MOR	AFT		EVE	LAT	LAT	LAT		LAT	5
33	viernes	LAT	MOR		AFT	EVE	LAT	LAT		LAT	LAT	5
34	sábado	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	5
35	domingo	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	5
36	lunes	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	LAT	5
37	martes		LAT	MOR	AFT	EVE		LAT	LAT	LAT	LAT	5
38	miércoles	LAT	LAT	MOR	AFT		EVE	LAT	LAT	LAT		5
39	jueves	LAT	LAT	MOR		AFT	EVE	LAT	LAT		LAT	5
40	viernes	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	5
41	sábado	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	5
42	domingo	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	LAT	5
43	lunes	LAT		LAT	MOR	AFT	EVE		LAT	LAT	LAT	5
44	martes		LAT	LAT	MOR	AFT		EVE	LAT	LAT	LAT	5
45	miércoles	LAT	LAT	LAT	MOR		AFT	EVE	LAT	LAT		5
46	jueves	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	5
47	viernes	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	5
48	sábado	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT		LAT	5
49	domingo	LAT	LAT		LAT	MOR	AFT	EVE		LAT	LAT	5
50	lunes	LAT		LAT	LAT	MOR	AFT		EVE	LAT	LAT	5
51	martes		LAT	LAT	LAT	MOR		AFT	EVE	LAT	LAT	5
52	miércoles	LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT		5
53	jueves	LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT		5
54	viernes	LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT		5
55	sábado	LAT	LAT	LAT		LAT	MOR	AFT	EVE		LAT	5
56	domingo	LAT	LAT		LAT	LAT	MOR	AFT		EVE	LAT	5
57	lunes	LAT		LAT	LAT	LAT	MOR		AFT	EVE	LAT	5
58	martes		LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT	5
59	miércoles		LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT	5
60	jueves		LAT	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	EVE	LAT	5

**Nota.** Esta tabla muestra la secuencia completa de cada uno de los grupos de técnicos, una vez completada, se repite la secuencia. Espacios en blanco corresponden a descansos.

Esta distribución requiere dos rotaciones de secuencias para cubrir completamente todos los turnos de cada día y mantener la proporción adecuada.

**Distribución diaria de grupos:**

- **1 grupo en MOR**
- **1 grupo en AFT**
- **1 grupo en EVE**
- **2 grupos descansando**
- **5 grupos en LAT**

**Ventajas:**

- **Cobertura total.** Todos los días están cubiertos con los cuatro turnos necesarios.
- **Uniformidad en turnos nocturnos.** Todas las noches cuentan con la misma cantidad de grupos asignados.
- **Cumple con las 42 horas semanales.** Respetando los límites legales.

**Desventajas:**

- **Proporción nocturna desbalanceada.** El número de técnicos asignados al turno nocturno es mayor al requerido.
- **Empalmes excesivos.** Turnos de **7 horas y 45 minutos** generan un total de **7 horas de empalmes diarios**, lo cual incrementa tiempos improductivos.
- **Mayor cantidad de días de desplazamiento.** Trabajar 6 días a la semana incrementa el número de días de traslado, afectando los costos operativos y la calidad de vida del personal.

**Conclusión.** Esta configuración es viable desde el punto de vista normativo y asegura una cobertura completa de los turnos, pero sus desventajas en términos de eficiencia operativa y costos hacen que sea menos favorable.

***Simulación y Evaluación: Secuencia de 5 días trabajados por semana (5-1, 5-1, 5-3)***

Esta secuencia implementa turnos de **8 horas y 45 minutos** y utiliza **dos rotaciones** de la siguiente manera:

- **Primera rotación:** LAT, LAT, MOR.
- **Segunda rotación:** LAT, LAT, AFT.

Estas rotaciones pueden alternarse libremente siempre que, en las **6 rotaciones totales**, se mantenga la proporción de **4 turnos nocturnos (LAT)**, **1 turno en la mañana (MOR)** y **1 turno en la tarde (AFT)** por grupo.

Tabla 2

Simulación secuencia 5-1, 5-1, 5-3

		G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	Cantidad de LAT en cada día
1	lunes	LAT	LAT	LAT		LAT	MOR	AFT		4
2	martes	LAT	LAT		LAT	LAT	MOR		AFT	4
3	miércoles	LAT		LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	4
4	jueves	LAT		LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	4
5	viernes	LAT		LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	4
6	sábado		LAT	LAT	LAT		LAT	MOR	AFT	4
7	domingo	AFT	LAT	LAT		LAT	LAT	MOR		4
8	lunes	AFT	LAT		LAT	LAT	LAT		MOR	4
9	martes	AFT	LAT		LAT	LAT	LAT		MOR	4
10	miércoles	AFT	LAT		LAT	LAT	LAT		MOR	4
11	jueves	AFT		LAT	LAT	LAT		LAT	MOR	4
12	viernes		AFT	LAT	LAT		LAT	LAT	MOR	4
13	sábado	MOR	AFT	LAT		LAT	LAT	LAT		4
14	domingo	MOR	AFT	LAT		LAT	LAT	LAT		4
15	lunes	MOR	AFT	LAT		LAT	LAT	LAT		4
16	martes	MOR	AFT		LAT	LAT	LAT		LAT	4
17	miércoles	MOR		AFT	LAT	LAT		LAT	LAT	4
18	jueves		MOR	AFT	LAT		LAT	LAT	LAT	4
19	viernes		MOR	AFT	LAT		LAT	LAT	LAT	4
20	sábado		MOR	AFT	LAT		LAT	LAT	LAT	4
21	domingo	LAT	MOR	AFT		LAT	LAT	LAT		4
22	lunes	LAT	MOR		AFT	LAT	LAT		LAT	4
23	martes	LAT		MOR	AFT	LAT		LAT	LAT	4
24	miércoles	LAT		MOR	AFT	LAT		LAT	LAT	4
25	jueves	LAT		MOR	AFT	LAT		LAT	LAT	4
26	viernes		LAT	MOR	AFT		LAT	LAT	LAT	4
27	sábado	LAT	LAT	MOR		AFT	LAT	LAT		4
28	domingo	LAT	LAT		MOR	AFT	LAT		LAT	4
29	lunes	LAT	LAT		MOR	AFT	LAT		LAT	4
30	martes	LAT	LAT		MOR	AFT	LAT		LAT	4
31	miércoles	LAT		LAT	MOR	AFT		LAT	LAT	4
32	jueves		LAT	LAT	MOR		AFT	LAT	LAT	4
33	viernes	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	LAT		4
34	sábado	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	LAT		4
35	domingo	LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	LAT		4
36	lunes	LAT	LAT		LAT	MOR	AFT		LAT	4
37	martes	LAT		LAT	LAT	MOR		AFT	LAT	4
38	miércoles		LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	LAT	4
39	jueves		LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	LAT	4
40	viernes		LAT	LAT	LAT		MOR	AFT	LAT	4

Nota. Esta tabla muestra la secuencia completa de cada uno de los grupos de técnicos, una

vez completada, se repite la secuencia. Espacios en blanco corresponden a descansos.

**Distribución diaria de grupos:**

- **1 grupo en MOR.**
- **1 grupo en AFT.**
- **2 grupos descansando.**
- **4 grupos en LAT.**

Se requieren **8 grupos** para cubrir la operación diaria de manera eficiente.

**Ventajas:**

- **Cobertura completa.** Todos los días se cubren con todos los turnos necesarios y en la proporción adecuada de personal para cada horario.
- **Uniformidad en turnos nocturnos.** Cada noche cuenta con la misma cantidad de 4 grupos asignados al turno LAT.
- **Empalmes eficientes.** El diseño asegura empalmes de solo 45 minutos por día, optimizando la operación.
- **Reducción de días asistidos al trabajo.** Se eliminan 11.9 días al año de asistencia presencial respecto a la secuencia actual, equivalente a una reducción del 4.17% en traslados.
- **Cumplimiento promedio de horas semanales.** En promedio, las 42 horas semanales requeridas se alcanzan, ajustándose a la normativa laboral.

**Desventajas:**

- **Variaciones semanales de horas trabajadas.** Aunque se cumple el promedio de 42 horas semanales, en semanas individuales, algunas semanas pueden superar este límite. Esto requiere solicitar **permiso especial al Ministerio del Trabajo** para operar bajo esta configuración.

**Conclusión.** La secuencia de **5 días (5-1, 5-1, 5-3)** es una **alternativa sólida y equilibrada** que asegura la cobertura total y una proporción adecuada de personal por turno, mientras minimiza los empalmes y reduce días de asistencia anual. Sin embargo, el cumplimiento variable de las horas semanales puede representar un desafío normativo que debe gestionarse con permisos especiales. Esta alternativa es una de las más viables dentro de las configuraciones de 5 días por semana.

***Simulación y Evaluación: Secuencia de 5 días trabajados por semana (5-2, 5-2, 4-2)***

Esta secuencia utiliza turnos de **8 horas y 45 minutos**, distribuidos en **dos rotaciones**:

- **Primera rotación:** LAT, LAT, MOR.
- **Segunda rotación:** LAT, LAT, AFT.

Se requieren **10 grupos** para cubrir todas las operaciones diarias.

Tabla 3

Simulación secuencia 5-2, 5-2, 4-2

		G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	Cantidad de LAT en cada día
1	lunes	LAT	AFT		LAT	LAT	LAT	MOR		LAT	LAT	6
2	martes	LAT	AFT		LAT		LAT	MOR		LAT		4
3	miércoles	LAT		AFT	LAT		LAT		MOR	LAT		4
4	jueves	LAT		AFT	LAT	LAT	LAT		MOR	LAT	LAT	6
5	viernes	LAT	LAT	AFT		LAT	LAT	LAT	MOR		LAT	6
6	sábado		LAT	AFT		LAT		LAT	MOR		LAT	4
7	domingo		LAT		AFT	LAT		LAT		MOR	LAT	4
8	lunes	LAT	LAT		AFT	LAT	LAT	LAT		MOR	LAT	6
9	martes	LAT	LAT	LAT	AFT		LAT	LAT	LAT	MOR		6
10	miércoles	LAT		LAT	AFT		LAT		LAT	MOR		4
11	jueves	LAT		LAT		AFT	LAT		LAT		MOR	4
12	viernes	LAT	LAT	LAT		AFT	LAT	LAT	LAT		MOR	6
13	sábado		LAT	LAT	LAT	AFT		LAT	LAT	LAT	MOR	6
14	domingo		LAT		LAT	AFT		LAT		LAT	MOR	4
15	lunes	MOR	LAT		LAT		AFT	LAT		LAT		4
16	martes	MOR	LAT	LAT	LAT		AFT	LAT	LAT	LAT		6
17	miércoles	MOR		LAT	LAT	LAT	AFT		LAT	LAT	LAT	6
18	jueves	MOR		LAT		LAT	AFT		LAT		LAT	4
19	viernes		MOR	LAT		LAT		AFT	LAT		LAT	4
20	sábado		MOR	LAT	LAT	LAT		AFT	LAT	LAT	LAT	6
21	domingo	LAT	MOR		LAT	LAT	LAT	AFT		LAT	LAT	6
22	lunes	LAT	MOR		LAT		LAT	AFT		LAT		4
23	martes	LAT		MOR	LAT		LAT		AFT	LAT		4
24	miércoles	LAT		MOR	LAT	LAT	LAT		AFT	LAT	LAT	6
25	jueves	LAT	LAT	MOR		LAT	LAT	LAT	AFT		LAT	6
26	viernes		LAT	MOR		LAT		LAT	AFT		LAT	4
27	sábado		LAT		MOR	LAT		LAT		AFT	LAT	4
28	domingo	LAT	LAT		MOR	LAT	LAT	LAT		AFT	LAT	6
29	lunes	LAT	LAT	LAT	MOR		LAT	LAT	LAT	AFT		6
30	martes	LAT		LAT	MOR		LAT		LAT	AFT		4
31	miércoles	LAT		LAT		MOR	LAT		LAT		AFT	4
32	jueves	LAT	LAT	LAT		MOR	LAT	LAT	LAT		AFT	6
33	viernes		LAT	LAT	LAT	MOR		LAT	LAT	LAT	AFT	6
34	sábado		LAT		LAT	MOR		LAT		LAT	AFT	4
35	domingo	AFT	LAT		LAT		MOR	LAT		LAT		4
36	lunes	AFT	LAT	LAT	LAT		MOR	LAT	LAT	LAT		6
37	martes	AFT		LAT	LAT	LAT	MOR		LAT	LAT	LAT	6
38	miércoles	AFT		LAT		LAT	MOR		LAT		LAT	4
39	jueves		AFT	LAT		LAT		MOR	LAT		LAT	4
40	viernes		AFT	LAT	LAT	LAT		MOR	LAT	LAT	LAT	6

**Nota.** Esta tabla muestra la secuencia completa de cada uno de los grupos de técnicos, una

vez completada, se repite la secuencia. Espacios en blanco corresponden a descansos.

**Ventajas:**

- **Cobertura completa.** Todos los días se cubren con todos los turnos requeridos para la operación.
- **Reducción de días asistidos al trabajo.** Se disminuye el número de días que el personal necesita asistir al lugar de trabajo en comparación con la secuencia actual.
- **Empalmes eficientes.** Los turnos están diseñados para tener empalmes de **45 minutos**, manteniendo un flujo operativo eficiente.
- **Cumplimiento promedio de horas semanales.** En promedio, se cumplen las **42 horas semanales** requeridas. Sin embargo, en la última rotación (4-2), se presenta una semana donde un grupo trabaja más de las 42 horas, lo cual requeriría permisos específicos.

**Desventajas:**

- **Fluctuación en los turnos nocturnos (LAT).** La cantidad de grupos asignados al turno nocturno por día **varía significativamente**, con un máximo de **6 grupos** y un mínimo de **4 grupos**. Esta variación afecta la uniformidad operativa y hace que la opción sea **inviable** para garantizar consistencia en las operaciones nocturnas.
- **Cumplimiento normativo.** Al igual que otras opciones, esta secuencia requiere solicitar **permiso especial al Ministerio del Trabajo** debido a la fluctuación en las horas trabajadas semanalmente en la última secuencia.

**Conclusión.** Aunque esta secuencia logra cubrir todos los turnos necesarios y ofrece beneficios como menos días de asistencia y empalmes eficientes, la **falta de consistencia en la cantidad de grupos en el turno nocturno (LAT)** descarta esta opción. La fluctuación diaria

de grupos en la noche compromete la estabilidad operativa, lo que la hace menos adecuada frente a otras alternativas.

***Simulación y Evaluación: Secuencia de 5 días trabajados por semana (5-2, 5-2, 5-3)***

La secuencia propuesta utiliza turnos de **8 horas y 45 minutos**, distribuidos en **dos rotaciones**:

- **Primera rotación:** LAT, AFT, MOR.
- **Segunda rotación:** LAT, LAT, LAT.

Se requieren **9 grupos** para cubrir todas las operaciones diarias.

Tabla 4

Simulación secuencia 5-2, 5-2, 5-3

		G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	Cantidad de LAT en cada día	Observaciones
1	lunes	LAT	AFT		LAT	LAT		MOR	LAT	LAT	5	
2	martes	LAT	AFT		LAT	LAT		MOR	LAT		4	
3	miércoles	LAT		AFT	LAT	LAT		MOR	LAT		4	
4	jueves	LAT		AFT	LAT		LAT	MOR		LAT	4	
5	viernes	LAT		AFT	LAT		LAT	MOR		LAT	4	
6	sábado		LAT	AFT		LAT	LAT		MOR	LAT	4	
7	domingo		LAT	AFT		LAT	LAT		MOR	LAT	4	
8	lunes	LAT	LAT		AFT	LAT	LAT		MOR	LAT	5	
9	martes	LAT	LAT		AFT	LAT		LAT	MOR		4	
10	miércoles	LAT	LAT		AFT	LAT		LAT	MOR		4	
11	jueves	LAT		LAT	AFT		LAT	LAT		MOR	4	
12	viernes	LAT		LAT	AFT		LAT	LAT		MOR	4	
13	sábado		LAT	LAT		AFT	LAT	LAT		MOR	4	
14	domingo		LAT	LAT		AFT	LAT		LAT	MOR	4	
15	lunes	MOR	LAT	LAT		AFT	LAT		LAT	MOR	4	2 MOR
16	martes	MOR	LAT		LAT	AFT		LAT	LAT		4	
17	miércoles	MOR	LAT		LAT	AFT		LAT	LAT		4	
18	jueves	MOR		LAT	LAT		AFT	LAT	LAT		4	
19	viernes	MOR		LAT	LAT		AFT	LAT		LAT	4	
20	sábado		MOR	LAT	LAT		AFT	LAT		LAT	4	
21	domingo		MOR	LAT		LAT	AFT		LAT	LAT	4	
22	lunes		MOR	LAT		LAT	AFT		LAT	LAT	4	
23	martes	LAT	MOR		LAT	LAT		AFT	LAT	LAT	5	
24	miércoles	LAT	MOR		LAT	LAT		AFT	LAT		4	
25	jueves	LAT		MOR	LAT	LAT		AFT	LAT		4	
26	viernes	LAT		MOR	LAT		LAT	AFT		LAT	4	
27	sábado	LAT		MOR	LAT		LAT	AFT		LAT	4	
28	domingo		LAT	MOR		LAT	LAT		AFT	LAT	4	
29	lunes		LAT	MOR		LAT	LAT		AFT	LAT	4	
30	martes	LAT	LAT		MOR	LAT	LAT		AFT	LAT	5	
31	miércoles	LAT	LAT		MOR	LAT		LAT	AFT		4	
32	jueves	LAT	LAT		MOR	LAT		LAT	AFT		4	
33	viernes	LAT		LAT	MOR		LAT	LAT		AFT	4	
34	sábado	LAT		LAT	MOR		LAT	LAT		AFT	4	
35	domingo		LAT	LAT		MOR	LAT	LAT		AFT	4	
36	lunes		LAT	LAT		MOR	LAT		LAT	AFT	4	
37	martes	AFT	LAT	LAT		MOR	LAT		LAT	AFT	4	2 AFT
38	miércoles	AFT	LAT		LAT	MOR		LAT	LAT		4	
39	jueves	AFT	LAT		LAT	MOR		LAT	LAT		4	
40	viernes	AFT		LAT	LAT		MOR	LAT	LAT		4	
41	sábado	AFT		LAT	LAT		MOR	LAT		LAT	4	
42	domingo		AFT	LAT	LAT		MOR	LAT		LAT	4	
43	lunes		AFT	LAT		LAT	MOR		LAT	LAT	4	
44	martes		AFT	LAT		LAT	MOR		LAT	LAT	4	

*Nota.* Esta tabla muestra la secuencia completa de cada uno de los grupos de técnicos, una vez completada, se repite la secuencia. Espacios en blanco corresponden a descansos.

**Ventajas:**

- **Cobertura completa.** Todos los turnos se cubren todos los días, cumpliendo con los requisitos operativos.
- **Cumplimiento de horas semanales.** Esta secuencia cumple con las **42 horas semanales** requeridas, sin necesidad de permisos adicionales por sobrecarga semanal.
- **Grupos mínimos alcanzados.** Se garantiza la cantidad mínima de grupos requerida para cada turno, sin dejar huecos operativos.

**Desventajas:**

- **Repetición del turno MOR en la misma jornada.** En una secuencia, el turno MOR se repite el mismo día, afectando la rotación uniforme. Este problema ocurre consistentemente en dos grupos específicos: **Grupo 1 y Grupo 9.**
- **Falta de consistencia en las noches.** La cantidad de grupos asignados al turno nocturno (LAT) no es uniforme. Mayormente hay **4 grupos**, pero ocasionalmente se encuentran **5 grupos**, generando un desbalance.

**Conclusión.** Aunque esta secuencia cumple con la mayoría de los criterios técnicos y normativos, presenta desbalances operativos:

- La **repetición de turnos en la misma jornada** afecta la rotación planificada.
- La **falta de consistencia en los turnos nocturnos** limita la estabilidad de la operación.

Por estas razones, esta secuencia se **descarta**.

***Simulación y Evaluación: Secuencia de 5 días trabajados por semana (5-2, 5-3)***

Esta secuencia utiliza turnos de **9 horas y 9 minutos** (incluyendo 45 minutos de alimentación) distribuidos en **tres rotaciones**:

- **Primera rotación:** LAT, AFT.
- **Segunda rotación:** LAT, MOR.
- **Tercera rotación:** LAT, LAT.

Se requieren **9 grupos** para cubrir las operaciones diarias con esta configuración.

Tabla 5

Simulación secuencia 5-2, 5-3

		G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	Cantidad de LAT en cada día
1	lunes	LAT	LAT		LAT	MOR		LAT	AFT		4
2	martes	LAT	LAT		LAT	MOR		LAT	AFT		4
3	miércoles	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	4
4	jueves	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	4
5	viernes	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	4
6	sábado		LAT	LAT		LAT	MOR		LAT	AFT	4
7	domingo		LAT	LAT		LAT	MOR		LAT	AFT	4
8	lunes	AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT		4
9	martes	AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT		4
10	miércoles	AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT		4
11	jueves	AFT		LAT	LAT		LAT	MOR		LAT	4
12	viernes	AFT		LAT	LAT		LAT	MOR		LAT	4
13	sábado		AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT	4
14	domingo		AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT	4
15	lunes		AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT	4
16	martes	LAT	AFT		LAT	LAT		LAT	MOR		4
17	miércoles	LAT	AFT		LAT	LAT		LAT	MOR		4
18	jueves	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	4
19	viernes	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	4
20	sábado	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	4
21	domingo		LAT	AFT		LAT	LAT		LAT	MOR	4
22	lunes		LAT	AFT		LAT	LAT		LAT	MOR	4
23	martes	MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT		4
24	miércoles	MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT		4
25	jueves	MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT		4
26	viernes	MOR		LAT	AFT		LAT	LAT		LAT	4
27	sábado	MOR		LAT	AFT		LAT	LAT		LAT	4
28	domingo		MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT	4
29	lunes		MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT	4
30	martes		MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT	4
31	miércoles	LAT	MOR		LAT	AFT		LAT	LAT		4
32	jueves	LAT	MOR		LAT	AFT		LAT	LAT		4
33	viernes	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	4
34	sábado	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	4
35	domingo	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	4
36	lunes		LAT	MOR		LAT	AFT		LAT	LAT	4
37	martes		LAT	MOR		LAT	AFT		LAT	LAT	4
38	miércoles	LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT		4
39	jueves	LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT		4
40	viernes	LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT		4
41	sábado	LAT		LAT	MOR		LAT	AFT		LAT	4
42	domingo	LAT		LAT	MOR		LAT	AFT		LAT	4
43	lunes		LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT	4
44	martes		LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT	4
45	miércoles		LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT	4

Nota. Esta tabla muestra la secuencia completa de cada uno de los grupos de técnicos, una vez

completada, se repite la secuencia. Espacios en blanco corresponden a descansos.

**Ventajas:**

- **Cobertura completa.** Todos los turnos necesarios se cubren todos los días sin interrupciones.
- **Cumplimiento de horas semanales.** Cumple con las **42 horas semanales**, ajustándose a las restricciones normativas.
- **Proporción adecuada de requerimientos por turno.** Se cubre perfectamente la proporción requerida de técnicos por turno (1/8 en MOR, 1/8 en AFT, 4/8 en LAT y 2/8 descansando).

**Desventajas:**

- **Empalmes.** Como en todas las secuencias de 5 días trabajados, esta configuración genera un empalme de **1 hora y 9 minutos** entre turnos, lo que representa un tiempo improductivo adicional.

**Conclusión.** La secuencia **5-2, 5-3** con tres rotaciones es la **mejor opción** evaluada hasta ahora, ya que:

- Cumple con todos los criterios operativos y normativos.
- Proporciona una cobertura completa con la proporción adecuada de técnicos en cada turno.
- Los empalmes, aunque presentes, son mínimos en comparación con otras secuencias de 5 días, y no afectan significativamente la eficiencia operativa.

Esta configuración es altamente viable y se recomienda como la alternativa preferida para su implementación en la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA).

## 5. Evaluación de Soluciones

En esta etapa, se evaluaron las tres soluciones más prometedoras que cumplían con la mayoría de los requerimientos operativos, legales y normativos identificados previamente. Se realizó un análisis detallado para determinar cuál de ellas ofrece la mejor combinación de eficiencia operativa, sostenibilidad económica y bienestar del personal técnico.

### *Criterios de Evaluación*

- **Cumplimiento de restricciones legales y normativas.** Las soluciones debían cumplir con el promedio de 42 horas semanales, considerando también semanas individuales para garantizar consistencia normativa.
- **Cobertura operativa.** Asegurar la distribución adecuada de técnicos en los turnos (MOR, AFT, LAT) y la proporción requerida en cada jornada.
- **Eficiencia operativa.** Considerar el impacto de los empalmes, la reducción de días asistidos al trabajo y la uniformidad en la cobertura de turnos nocturnos.
- **Viabilidad práctica.** Analizar la facilidad de implementación, los costos asociados y la aceptación potencial por parte del personal técnico.

### *Alternativas Evaluadas*

#### A. **Secuencia 5-2, 5-3:**

**Descripción:** Turnos de **9 horas y 9 minutos**, con un empalme de **1 hora y 9 minutos**, distribuidos en tres rotaciones: LAT, AFT; LAT, MOR; LAT, LAT.

#### **Ventajas:**

- Cobertura completa con una proporción adecuada de técnicos por turno.
- Cumple con las **42 horas semanales en promedio**.

- Optimiza la cantidad de días asistidos al trabajo, reduciendo los traslados del personal.
- Consistencia en el cumplimiento normativo, ya que no se exceden las **42 horas semanales** en ninguna semana individual.

***Desventajas:***

- Empalmes de 1 hora y 9 minutos, que aunque aceptables, generan tiempo improductivo que podría optimizarse.

**B. Secuencia 5-1, 5-1, 5-3:**

***Descripción:*** Turnos de **9 horas y 9 minutos**, con un empalme de **1 hora y 9 minutos**, distribuidos en dos rotaciones: LAT, LAT, MOR; LAT, LAT, AFT.

***Ventajas:***

- Cobertura completa de todos los turnos con la cantidad mínima de grupos (8 grupos).
- Reduce días asistidos al trabajo respecto al esquema actual, mejorando la eficiencia operativa.

***Desventajas:***

- Algunas semanas superan las **42 horas semanales**, lo que introduce desafíos normativos y podría requerir permiso adicional del Ministerio del Trabajo.

**C. Secuencia 6-1, 6-1, 6-1, 6-3:**

***Descripción:*** Turnos de **7 horas y 45 minutos**, con un empalme de **1 hora y 45 minutos**, distribuidos en dos rotaciones: LAT, EVE, AFT, MOR; y LAT, LAT, LAT, LAT.

***Ventajas:***

- Cobertura completa con una proporción adecuada de técnicos por turno.

**Desventajas:**

- Requiere que los técnicos asistan más días al trabajo, lo que no se alinea con el objetivo de minimizar los traslados.
- Empalmes excesivamente largos (1 hora y 45 minutos), lo que genera tiempo improductivo.

**Conclusión.** La secuencia **6-1, 6-1, 6-1, 6-3** se descarta porque no cumple con el objetivo de reducir los días asistidos al trabajo y porque presenta empalmes excesivos, afectando la eficiencia operativa.

Además, aunque la **Secuencia 5-1, 5-1, 5-3** cumple con el promedio de 42 horas semanales, algunas semanas exceden este límite, lo que introduce desafíos normativos que requieren permisos adicionales del Ministerio del Trabajo.

Por tanto, la **Secuencia 5-2, 5-3** se selecciona como la solución más adecuada. Esta opción garantiza el cumplimiento normativo en todas las semanas, mantiene la cobertura operativa requerida y reduce los días asistidos al trabajo, alineándose con los objetivos del proyecto.

## **6. Refinamiento de la Secuencia Escogida**

Tras la selección de la **Secuencia 5-2, 5-3** como la solución más adecuada, se procederá a su refinamiento con el objetivo de maximizar su impacto positivo en términos operativos, económicos y sociales. Este refinamiento incluye ajustes específicos para optimizar los horarios, minimizar los empalmes y ajustar las horas trabajadas a las necesidades operativas actuales.

## **Aspectos Clave del Refinamiento**

### **A. Optimización de Empalmes:**

- Aunque la secuencia presenta empalmes de **1 hora y 9 minutos**, se evaluará la posibilidad de ajustar ligeramente los horarios de los turnos para aumentar los empalmes en los horarios nocturnos, donde la cobertura es más crítica, y reducirlos durante el día.
- Por ejemplo, si los turnos fueran de 9 horas, se podrían ajustarse de la siguiente manera:
  - **MOR (Mañana):** 04:45 - 13:45
  - **AFT (Tarde):** 13:15 - 22:15
  - **LAT (Noche):** 21:00 - 06:00
- Esto permitiría un empalme de **1 hora y 15 minutos** en la noche y en la mañana, y solo **30 minutos de empalme** en la tarde, optimizando los tiempos improductivos. Esto mismo se podría hacer con la propuesta final.

### **B. Validación de Horas Totales:**

- Teniendo en cuenta que durante el tiempo que se utilizó la secuencia de **6-1, 6-1, 6-3**, con jornadas de 48 horas semanales, los técnicos realizaban aproximadamente el **91.3% de las horas totales reglamentarias al año**, se podría proponer un ajuste similar.
- Desde que llegó el sistema *On Call*, el trabajo en turnos nocturnos ha representado **66%** de la secuencia, comparado con el **33%** que se realizaba anteriormente. Debido a este **incremento significativo** en las **jornadas**

**nocturnas** y su **impacto en la calidad de vida**, se propone reducir la jornada laboral a **8 horas y 45 minutos** por turno.

- Con este ajuste, los técnicos trabajarían aproximadamente el **88.9% de las horas totales reglamentarias al año**, lo que representa una reducción del **2.4%** con respecto al esquema anterior (91.3%).
- Este ajuste se presenta como una compensación razonable para equilibrar el aumento de turnos nocturnos con la carga laboral, manteniendo la eficiencia operativa.

#### C. Encuestas de Satisfacción:

- Los resultados de las encuestas aplicadas al personal técnico serán fundamentales para validar la propuesta y ajustar los turnos según la percepción y aceptación de los técnicos.
- Especialmente, se revisará la disposición de los técnicos a aceptar los ajustes en los horarios propuestos y la reducción de los tiempos de alimentación para optimizar la operación.

### 7. Propuesta Refinada de la Secuencia 5-2, 5-3

Con base en los ajustes mencionados, la secuencia refinada podría quedar de la siguiente manera, si la empresa llega a aceptar la reducción de tiempo, 8 horas y 45 minutos:

- **Turnos diarios:**
  - **MOR (05:00 - 13:45)**
  - **AFT (13:00 - 21:45)**
  - **LAT (21:00 – 05:45)**

- **Distribución de los turnos:**
  - **LAT, AFT; LAT, MOR; LAT, LAT.**
- **Proporción de técnicos diariamente:** 1/8 MOR, 1/8 AFT, 4/8 LAT, 2/8 Descansos.
- **Empalmes ajustados:**
  - **45 minutos**
- **Jornada laboral ajustada:**
  - **8 horas y 45 minutos** por turno.

### **Conclusión**

El refinamiento de la **Secuencia 5-2, 5-3** tiene como objetivo:

1. Optimizar la eficiencia operativa mediante la reducción de empalmes diurnos y el ajuste de los horarios.
2. Compensar el aumento significativo de turnos nocturnos con una reducción razonable de la jornada laboral a **8 horas y 45 minutos**, manteniendo la productividad y alineándose con precedentes históricos.
3. Validar los ajustes con la percepción y aceptación del equipo técnico para asegurar una implementación exitosa.

La versión refinada de la secuencia será documentada y presentada como parte de la propuesta final para la organización.

Finalmente, al cubrir adecuadamente todos los turnos con la proporción necesaria, no se considera necesario modificar los turnos para aumentar empalmes en la noche y reducirlos en la mañana. Los empalmes actuales de **45 minutos** son suficientes para garantizar una operación eficiente.

## 8. Conexión Metodológica con los Resultados

La metodología aplicada en este proyecto permitió cumplir de manera estructurada con los objetivos planteados. A continuación, se detalla cómo cada paso metodológico se reflejó en los resultados obtenidos:

- **Análisis del sistema de turnos actual:**

El análisis inicial identificó los principales puntos críticos del sistema actual, tales como:

- Sobrecarga de turnos nocturnos y falta de predictibilidad, lo que afecta negativamente el bienestar del personal.
- Ineficiencias en tiempos de empalme, de mantenerse la estructura actual, el próximo año se presentarán empalmes de solo 5 minutos entre turnos. Esto, a su vez, llevará a que, para el año 2026, se pierda completamente la cobertura de la base, con intervalos de 15 minutos sin personal asignado entre cada turno.

- **Diseño de propuestas:**

Basándonos en los hallazgos, se diseñaron propuestas principales que:

- Equilibraron la rotación de turnos nocturnos para garantizar descansos adecuados y con secuencias fijas, se mejora la predictibilidad de los turnos.
- Redujeron los tiempos de empalme al mínimo, lo que permite una disminución en los costos asociados a tiempos improductivos. Las simulaciones realizadas validaron que estas propuestas cumplen con la normativa de la Ley 2101 de 2021 y aseguran la cobertura operativa continua.

- **Simulación y validación:**

Las simulaciones demostraron que la propuesta de 5 días trabajados por semana (5-2, 5-3) optimiza los recursos humanos y logísticos. Los resultados arrojaron:

- Una disminución de 42 días anuales de asistencia al lugar del trabajo.
- Un promedio de 4.09 sobre 5 en el nivel de satisfacción de la secuencia según encuestas aplicadas al personal técnico. Las métricas incluyeron indicadores de cobertura operativa y satisfacción del equipo.

- **Evaluación del impacto en bienestar y costos:**

La evaluación final destacó que la distribución equitativa de los turnos mejoró la percepción de satisfacción del equipo técnico, mientras que los ajustes en los tiempos de empalme se redujeron al mínimo posible y la disminución de días laborales redujeron los costos logísticos en un 14.81%, cumpliendo con los objetivos de impacto definidos en el estudio.

- **Alineación con los objetivos específicos:**

1. **Analizar el sistema de turnos actual**

**Cumplimiento:** Se llevó a cabo un análisis exhaustivo del sistema de turnos vigente, donde se identificaron varios problemas clave, como los insuficientes tiempos de empalme entre turnos (solo 5 minutos para el año 2025), lo cual afectaría la cobertura de personal y la productividad. Además, se anticipó que para 2026 sería imposible mantener una cobertura total sin realizar ajustes en el sistema de turnos lo cual no es permitido dentro de los requerimientos del operador. Este análisis permitió identificar la necesidad de modificaciones específicas para cumplir con la normativa y mejorar el bienestar del equipo.

2. **Desarrollar un modelo de secuencia de turnos**

**Cumplimiento:** Se diseñaron varias propuestas de secuencias de turnos que cumplieron con la normativa de reducción de la jornada laboral en Colombia (42

horas semanales para 2026). Las propuestas fueron evaluadas mediante simulaciones para garantizar una cobertura continua sin comprometer la efectividad operativa. Además, se consideraron las necesidades de bienestar del equipo al optimizar los tiempos de descanso y minimizar la acumulación de fatiga, lo que garantiza un balance adecuado entre las necesidades operacionales y el bienestar de los empleados.

### 3. **Alinear la secuencia de turnos con distribución equitativa**

**Cumplimiento:** Se llevaron a cabo simulaciones para asegurar una distribución equitativa de los turnos entre los técnicos, garantizando que la carga laboral no se sobrecargara en ningún grupo de trabajo. Además, al ser una secuencia fija, se introdujo la predictibilidad de los turnos, lo que permitió a los técnicos organizar mejor su tiempo fuera del trabajo, reduciendo el estrés y mejorando la satisfacción laboral. Esto contribuye significativamente a un entorno de trabajo más equilibrado, sin comprometer la cobertura operativa necesaria.

### 4. **Validar la viabilidad y el impacto de las propuestas**

**Cumplimiento:** Se realizaron simulaciones y encuestas al personal técnico para validar la viabilidad de las nuevas propuestas de turnos. Los resultados mostraron que las propuestas no solo reducían los costos operativos, sino que también mejoraban la satisfacción general del personal técnico, evidenciando un nivel de aceptación alto que a su vez, es un aumento en el bienestar percibido y una mayor eficiencia operativa. Esto permitió ajustar las estructuras de turnos de acuerdo con las necesidades reales de la organización y del equipo, consolidando un modelo más eficaz y sostenible.

## Resultados

Para el desarrollo del proyecto, se simularon secuencias de turnos alternativos para la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA). Estas simulaciones permitieron analizar el desempeño y la viabilidad operativa de las propuestas, asegurando que las soluciones estuvieran fundamentadas en análisis técnico y cuantitativo.

### Simulaciones

Se llevaron a cabo simulaciones para evaluar el desempeño de las secuencias, lo que permitió identificar el impacto de cada propuesta en aspectos clave como:

- Continuidad operativa.
- Rotación y distribución de técnicos especializados.
- Tiempos de empalme y su efecto en la cobertura.

Estas simulaciones ayudaron a validar que la **Secuencia 5-2, 5-3** cumpliera con los requerimientos operativos y normativos establecidos.

### Encuestas para Validar la Percepción del Equipo Técnico

#### *Resultados de la Encuesta*

Para validar la percepción del equipo técnico respecto a las propuestas de turnos planteadas, se realizó una encuesta en la que participaron 11 técnicos. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

1. **Evaluación de las Propuestas de Turnos** Los técnicos calificaron las tres propuestas de turnos en una escala de 1 a 5, reflejando sus niveles de satisfacción y aceptación.

Los promedios de calificación fueron los siguientes:

- **Propuesta 1:** Secuencia 6-1, 6-1, 6-1, 6-3. Promedio: **2.36**.
- **Propuesta 2:** Secuencia 5-2, 5-3. Promedio: **4.09**.
- **Propuesta 3:** Secuencia 5-1, 5-1, 5-3. Promedio: **2.45**.

Estos resultados muestran una clara preferencia por la **Propuesta 2**, la cual obtuvo una calificación promedio significativamente más alta en comparación con las demás opciones.

2. **Disposición a Reducir el Tiempo de Alimentación** Se preguntó a los técnicos si estarían dispuestos a reducir ligeramente el tiempo de alimentación (por ejemplo, de 45 minutos a 36 minutos) para disminuir el tiempo de empalme y aumentar la eficiencia operativa. Las respuestas fueron:

- **Sí:** 7 técnicos.
- **No:** 2 técnicos.
- **Tal vez:** 2 técnicos.

La mayoría de los técnicos (63.6%) expresó su disposición a aceptar esta reducción en el tiempo de alimentación, lo que indica una apertura hacia ajustes que optimicen la operación.

3. **Satisfacción con Ajustes en los Horarios de Turnos** En relación con la propuesta de ajustar los horarios de los turnos para aumentar el empalme en la noche y reducirlo durante el día (por ejemplo, turnos de 9 horas con empalmes nocturnos más amplios), los técnicos calificaron su satisfacción con un promedio de **3.27** en una escala de 1 a 5. Este resultado sugiere una aceptación moderada de la idea, aunque no genera un consenso amplio entre los participantes.

**Conclusión de la Encuesta.** Los resultados de la encuesta respaldan de manera contundente la **Propuesta 2** (Secuencia 5-2, 5-3) como la opción más aceptada por los técnicos. Además, existe una mayoría dispuesta a reducir el tiempo de alimentación para optimizar los empalmes. Sin embargo, la aceptación de ajustes en los horarios de los turnos tiene una evaluación más neutral, lo que sugiere que cualquier modificación en este aspecto debe implementarse con precaución y previo diálogo con el equipo técnico.

### **Evaluación Económica**

Se realizó el cálculo correspondiente para analizar el impacto económico de la propuesta definitiva respecto al esquema actual. Este análisis incluyó:

- **Reducción en las veces que se asiste al trabajo:** Con la **Secuencia 5-2, 5-3**, los técnicos reducirían **42 días anuales de asistencia**, lo que equivale a una disminución del **14.81%** en los días trabajados físicamente.
- **Ahorro en Transporte:** Esta reducción en días asistidos disminuye significativamente los costos asociados al transporte para la empresa, generando un impacto positivo en el presupuesto logístico anual.
- **Menor Desgaste de Recursos:** Al disminuir la frecuencia de asistencia, se genera un menor uso de infraestructura y recursos logísticos relacionados con el traslado y soporte del personal técnico.
- **Incremento en el Bienestar del Personal:** Una reducción en días asistidos se traduce en una mayor satisfacción laboral, lo que podría disminuir la rotación del personal técnico, generando ahorros en costos asociados al reclutamiento y capacitación de nuevos empleados.
- **Sostenibilidad Operativa:** La secuencia garantiza una cobertura estable y adecuada de los turnos, evitando gastos adicionales relacionados con la falta de personal en horarios críticos.

El análisis económico confirmó que la **Secuencia 5-2, 5-3** es sostenible y ofrece beneficios económicos significativos para la OMA, al tiempo que optimiza la operación y mejora el bienestar del personal técnico.

## **Análisis de Impacto Ambiental y Social**

### ***Impacto Ambiental***

**Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.** La reorganización de los turnos, específicamente con la implementación de las secuencias de 5 días, tiene un impacto directo en la reducción de la huella de carbono. Al disminuir la frecuencia con la que los técnicos deben desplazarse a su

lugar de trabajo, se reduce la cantidad de viajes diarios. Esto no solo disminuye los costos logísticos de transporte, sino que también contribuye a la sostenibilidad medioambiental.

#### **Cálculos aproximados de ahorro de CO<sub>2</sub>:**

- Reducción de días de asistencia por técnico al año, lo que implica un menor número de desplazamientos.
- Estimación de menos CO<sub>2</sub> anual en comparación con el esquema actual.

En adición, se pueden incorporar iniciativas como promover el uso de transporte sostenible.

**Eficiencia energética.** La menor frecuencia de turnos también implica una disminución en el uso de recursos energéticos, como la iluminación y el aire acondicionado. Al reducir la cantidad de personal presente en los horarios menos demandados, se optimiza el consumo de energía.

- Menor uso de recursos durante los días con menos personal.
- Posible ahorro en la factura energética anual.

**Cumplimiento de directrices de sostenibilidad.** La propuesta de turnos se alinea con las políticas de sostenibilidad locales y nacionales, como los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y las metas nacionales de reducción de emisiones de carbono. La optimización de la operación no solo cumple con estos objetivos, sino que también demuestra el compromiso de la organización con la sostenibilidad.

### ***Impacto Social***

**Mejora del bienestar laboral.** La reorganización de los turnos tiene un impacto positivo en el bienestar de los técnicos, promoviendo un equilibrio entre su vida laboral y personal. Con las secuencias de 5 días, se reduce la duración de las jornadas laborales excesivas y se aumenta el tiempo libre, lo que contribuye a una mayor satisfacción personal y profesional.

- **Reducción de jornadas excesivas:** La organización de los turnos facilita un mejor descanso y menos estrés relacionado con largas jornadas.
- **Rotación justa de turnos nocturnos:** La rotación equitativa de turnos nocturnos distribuye la carga de trabajo nocturna de manera más equilibrada entre los técnicos.
- **Incremento de días libres:** Los técnicos disfrutan de más días libres al año, lo que aumenta su calidad de vida.

**Reducción de enfermedades relacionadas con la fatiga.** La reorganización de los turnos también tiene un impacto directo en la salud de los técnicos, al reducir el riesgo de enfermedades relacionadas con la fatiga. Jornadas de trabajo más razonables, con descansos adecuados, disminuyen la incidencia de trastornos como el estrés crónico y los trastornos del sueño.

**Impacto en las familias de los técnicos.** El nuevo esquema de turnos tiene efectos positivos en las familias de los técnicos. Al mejorar la previsibilidad de los horarios y aumentar la calidad del tiempo libre, los técnicos pueden planificar mejor sus actividades familiares y personales, lo que contribuye a un mejor equilibrio entre trabajo y familia.

**Fortalecimiento de la cohesión del equipo.** La propuesta de turnos fomenta un ambiente de trabajo más justo, lo que mejora la moral del equipo. Un diseño equitativo y predecible de los turnos reduce el ausentismo y la rotación de personal, contribuyendo a una mayor cohesión entre los miembros del equipo y mejorando la dinámica laboral en general.

## **Prototipo Final**

Tabla 6

Secuencia prototipo final, 5-2, 5-3

		G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	Cantidad de LAT en cada día
1	lunes	LAT	LAT		LAT	MOR		LAT	AFT		4
2	martes	LAT	LAT		LAT	MOR		LAT	AFT		4
3	miércoles	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	4
4	jueves	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	4
5	viernes	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	4
6	sábado		LAT	LAT		LAT	MOR		LAT	AFT	4
7	domingo		LAT	LAT		LAT	MOR		LAT	AFT	4
8	lunes	AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT		4
9	martes	AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT		4
10	miércoles	AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT		4
11	jueves	AFT		LAT	LAT		LAT	MOR		LAT	4
12	viernes	AFT		LAT	LAT		LAT	MOR		LAT	4
13	sábado		AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT	4
14	domingo		AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT	4
15	lunes		AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	LAT	4
16	martes	LAT	AFT		LAT	LAT		LAT	MOR		4
17	miércoles	LAT	AFT		LAT	LAT		LAT	MOR		4
18	jueves	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	4
19	viernes	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	4
20	sábado	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT		MOR	4
21	domingo		LAT	AFT		LAT	LAT		LAT	MOR	4
22	lunes		LAT	AFT		LAT	LAT		LAT	MOR	4
23	martes	MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT		4
24	miércoles	MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT		4
25	jueves	MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT		4
26	viernes	MOR		LAT	AFT		LAT	LAT		LAT	4
27	sábado	MOR		LAT	AFT		LAT	LAT		LAT	4
28	domingo		MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT	4
29	lunes		MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT	4
30	martes		MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	LAT	4
31	miércoles	LAT	MOR		LAT	AFT		LAT	LAT		4
32	jueves	LAT	MOR		LAT	AFT		LAT	LAT		4
33	viernes	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	4
34	sábado	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	4
35	domingo	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT		LAT	4
36	lunes		LAT	MOR		LAT	AFT		LAT	LAT	4
37	martes		LAT	MOR		LAT	AFT		LAT	LAT	4
38	miércoles	LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT		4
39	jueves	LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT		4
40	viernes	LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT		4
41	sábado	LAT		LAT	MOR		LAT	AFT		LAT	4
42	domingo	LAT		LAT	MOR		LAT	AFT		LAT	4
43	lunes		LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT	4
44	martes		LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT	4
45	miércoles		LAT	LAT		MOR	LAT		AFT	LAT	4

*Nota.* Esta tabla muestra la secuencia completa de cada uno de los grupos de técnicos, una vez completada, se repite la secuencia. Espacios en blanco corresponden a descansos.

El prototipo final consiste en la secuencia de turnos 5-2, 5-3, con 3 rotaciones: LAT, AFT; LAT, MOR; y LAT, LAT. Esta secuencia fue refinada para cumplir con todos los requerimientos legales, operativos y económicos identificados durante el proyecto. La propuesta es la base para una posible implementación, respaldada por simulaciones realizadas, encuestas al equipo técnico y análisis económicos.

### **Evidencia de Simulaciones**

La evidencia de las simulaciones realizadas se encuentra en los análisis presentados durante la fase metodológica del proyecto. Las simulaciones fueron fundamentales para validar la viabilidad operativa y el cumplimiento de los requisitos, especialmente en cuanto a la cobertura de los turnos, el bienestar del personal y los costos asociados. Estas simulaciones incluyeron ajustes en la rotación de turnos y los efectos de la distribución en la carga laboral.

### **Metodología Empleada**

La selección y validación de las secuencias de turnos se realizaron mediante un enfoque empírico, dado que la combinación de turnos no implicaba una gran cantidad de datos que requirieran el uso de herramientas matemáticas avanzadas. En lugar de ello, se utilizó Excel, lo que permitió una visualización clara y sencilla de las combinaciones de turnos. Este enfoque empírico consistió en realizar múltiples iteraciones de simulaciones, evaluándolos en función de la experiencia operativa y la viabilidad práctica, lo que permitió llegar a la configuración de turno óptima.

El valor de este enfoque empírico se refleja en su capacidad para generar soluciones adaptadas a las condiciones reales del entorno operativo. Según Roth & Rosenzweig (2020), la investigación empírica se ha convertido en una herramienta vital para los estudios de operaciones, especialmente cuando los datos disponibles son limitados, ya que permite obtener soluciones prácticas sin la necesidad de modelos matemáticos complejos. Además, Fisher et

al. (2019) argumentan que la investigación empírica permite aplicar métodos prácticos de recolección de datos para validar teorías y resolver problemas operativos de manera efectiva.

Durante las pruebas, se evidenció que para lograr una secuencia de turnos equilibrada, el número de días de descanso debe ser igual al número de días consecutivos trabajados. Por ejemplo, en la secuencia **5-1, 5-1, 5-3**, la suma de los días de descanso es igual a la cantidad de días consecutivos trabajados (5 días), lo que garantiza un equilibrio adecuado. Por otro lado en el ejemplo de **5-1, 5-2, 5-3**, no cumplía con estos requisitos, porque la suma de días de descanso es diferente a los días consecutivos de trabajo (6 días). El número de descansos puede ser acomodado de la manera que se prefiera, siempre que se cumpla con la condición de que el número de días de descanso sea igual al número de días consecutivos trabajados. Esto brinda flexibilidad para adaptar la secuencia de turnos a las necesidades operativas específicas, sin perder el equilibrio entre trabajo y descanso.

Además, es importante también tener en cuenta que el número de días consecutivos trabajados sea igual en toda la secuencia. Si no se mantiene esta igualdad, como en el caso de una secuencia **5-1, 4-1, 5-3**, donde hay una semana de 4 días, mientras que los otros son de 5 días, pueden surgir desajustes en la cobertura de los turnos, se pierde equilibrio en el turno nocturno y/o se pueden repetir que en un día, o varios, haya dos grupos en la mañana o en la tarde, lo que afectaría la eficiencia operativa y la distribución de la carga laboral entre los grupos.

### **Herramientas Matemáticas y Técnicas de Ingeniería**

En el desarrollo de este prototipo no se emplearon herramientas matemáticas complejas ni técnicas de ingeniería avanzada. Las simulaciones se realizaron utilizando Excel, lo que permitió realizar un análisis visual y rápido de las combinaciones de turnos. Este enfoque empírico resultó adecuado dada la naturaleza del problema, ya que no se trataba de un

volumen de datos que justificara el uso de métodos complejos como la optimización lineal o simulaciones avanzadas.

Este enfoque permitió ajustar las secuencias de turnos mediante la práctica, realizando diferentes simulaciones hasta llegar a la mejor solución. La flexibilidad de Excel facilitó realizar ajustes rápidos y obtener resultados visuales inmediatos para validar la eficiencia de las secuencias de turnos sin necesidad de herramientas matemáticas sofisticadas.

### **Beneficios para la Empresa**

- **Cumplimiento normativo:** Alineación con la Ley 2101 de 2021, garantizando que los técnicos trabajen un promedio de 42 horas semanales sin exceder los límites legales.
- **Reducción de costos operativos:** La disminución en la frecuencia de días asistidos al trabajo implica ahorros significativos en costos de transporte, con un 14.81% menos en comparación con el esquema actual.
- **Estabilidad operativa:** La secuencia fija asegura una planificación más sencilla y eficiente, con una distribución uniforme de técnicos en todos los turnos, especialmente en el nocturno, donde la carga operativa es mayor.
- **Ahorro en costos administrativos:** La predictibilidad de los turnos reduce la necesidad de ajustes frecuentes en la programación, disminuyendo la carga administrativa.

### **Beneficios para los Empleados**

- **Mayor estabilidad horaria:** Al ser una secuencia fija, los técnicos tendrán claridad sobre sus turnos a lo largo del año. Aunque podrían presentarse ajustes menores por necesidades operativas o por ausencias de último momento.
- **Reducción en días asistidos al trabajo:** La propuesta disminuye en 42 días anuales las veces que los técnicos deben desplazarse, lo que equivale a un 14.81% menos en comparación con el esquema actual.

- **Mayor tiempo con la familia:** La reducción de días laborales y la distribución equitativa de descansos permite a los técnicos disfrutar de más tiempo de calidad con sus familias, mejorando su calidad de vida.
- **Menor desgaste físico y emocional:** Con turnos ajustados a las 42 horas semanales y una proporción justa de participación en los turnos nocturnos, los técnicos enfrentarán una carga laboral más equilibrada.
- **Mejora en la planificación personal:** La predictibilidad de los turnos facilita la organización de actividades personales y familiares, promoviendo un mejor equilibrio entre vida laboral y personal.

## **Impacto Ambiental Secuencia 5-2, 5-3**

### ***Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>***

La Secuencia 5-2, 5-3 se destaca por su eficiencia no solo en términos operativos, sino también en su impacto ambiental. Con la reducción de 42 días de asistencia al año y la consecuente disminución de desplazamientos, se logrará una significativa reducción de la huella de carbono, estimación de 14.81% menos de CO<sub>2</sub> anual en comparación con el esquema actual.

En adición, se pueden incorporar iniciativas como promover el uso de transporte sostenible. Esta propuesta refleja un claro compromiso con la sostenibilidad y la eficiencia operativa.

### ***Eficiencia energética***

La Secuencia 5-2, 5-3 no solo optimiza los desplazamientos de los técnicos, sino que también reduce la cantidad de personas presentes en el lugar de trabajo durante la jornada laboral en un 12,17%. Esto contribuye a una disminución del uso de recursos energéticos, como la iluminación, equipos de trabajo y aire acondicionado.

### **Beneficios:**

Se estima la reducción del mismo porcentaje de horas que los técnicos están en su jornada laboral, un 12,17% en:

- **Reducción en el consumo de energía:** Al reducir los días de trabajo presenciales, la demanda energética también disminuye.
- **Ahorro en costos operativos:** Menos personal en las instalaciones significa menos uso de equipos, generando ahorros significativos a nivel energético.

### **Impacto Social Secuencia 5-2, 5-3**

#### ***Mejora del Bienestar Laboral***

El impacto en el bienestar de los técnicos es uno de los puntos más destacados de la propuesta. Al mejorar la estructura de los turnos, se favorece un entorno de trabajo más saludable y equilibrado, con un enfoque en la calidad de vida.

- **Reducción de jornadas laborales excesivas:** Al reducir la frecuencia de los turnos y mejorar el tiempo de descanso, los técnicos experimentan una disminución en las jornadas laborales extremadamente largas, lo que reduce la presión y el estrés.
- **Rotación justa de turnos nocturnos:** Con un sistema más equilibrado, los turnos nocturnos se distribuyen de manera equitativa entre los técnicos, garantizando que cada uno conozca con antelación sus turnos futuros, con excepciones mínimas por cambios inesperados
- **Incremento de días libres:** El nuevo sistema asegura más días libres para los técnicos, lo que les permite descansar y disfrutar de su tiempo personal.

#### ***Reducción de enfermedades relacionadas con la fatiga***

Los turnos bien organizados y con descansos adecuados contribuyen a reducir la fatiga laboral, uno de los principales factores de riesgo para enfermedades como el insomnio. Con

una mayor flexibilidad en los horarios y descansos, los técnicos tienen más tiempo para recuperarse entre jornadas, lo que a largo plazo reduce las bajas por enfermedad.

**Impacto en la salud mental:** Al disminuir la presión y jornada laboral, se reduce también el riesgo de trastornos psicológicos relacionados con el trabajo, mejorando la calidad de vida general del equipo.

### ***Impacto en las familias de los técnicos***

La reorganización de los turnos tiene un efecto positivo en las familias de los técnicos. Al ofrecer una mayor previsibilidad en los horarios y días de descanso, los técnicos pueden planificar mejor su tiempo personal y familiar.

- **Mayor tiempo en familia:** Los técnicos disfrutan de más días libres y de horarios más regulares, lo que facilita las actividades familiares y sociales.
- **Mejor calidad de vida:** Un esquema más equilibrado favorece una mejor integración entre la vida personal y profesional, mejorando la satisfacción tanto a nivel personal como familiar.

### ***Fortalecimiento de la cohesión del equipo***

La implementación de la Secuencia 5-2, 5-3 tiene el potencial de fortalecer la cohesión del equipo, ya que promueve un sentido de justicia y equidad en la distribución de los turnos. Esto se traduce en una mayor motivación y en un ambiente laboral más armonioso.

- **Reducción de la rotación de personal:** La satisfacción general con los turnos aumenta la estabilidad laboral, lo que contribuye a la fidelización del personal y reduce los costos asociados con la rotación.
- **Mejora en el trabajo en equipo:** Un esquema de turnos más justo fomenta una mayor colaboración y cohesión entre los técnicos, lo que resulta en un mejor desempeño colectivo.

## **Análisis de Costos**

### **Análisis de Costos Directos**

El proyecto de reestructuración de los turnos de trabajo dentro de la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) no conlleva costos directos significativos. El enfoque principal del proyecto es el diseño y la implementación de una secuencia de turnos que se ajusta a la jornada laboral establecida por la Ley 2101 de 2021, utilizando los recursos existentes dentro de la organización. Esto significa que no se requieren nuevos materiales, herramientas o sistemas para llevar a cabo la implementación de la nueva secuencia de turnos. No obstante, el cambio en la estructura de turnos podría generar ahorros indirectos, especialmente en la optimización de las tareas operativas, como la disminución de la carga de trabajo para la persona encargada de gestionar los turnos. Estos ahorros, aunque no son estrictamente costos directos, contribuirán a mejorar la eficiencia operativa durante la fase de transición.

### ***Impacto en los Recursos Humanos:***

Uno de los principales beneficios de este proyecto es la reducción de la carga de trabajo de la persona encargada de gestionar los turnos de trabajo. Actualmente, dicha persona organiza los turnos de manera manual, asignando cada turno individualmente, lo que demanda tiempo y esfuerzo constante. Con la adopción de la secuencia de turnos propuesta, la asignación de los mismos se simplifica, ya que se establece una secuencia fija que no requiere ajustes frecuentes. Esta mejora en el proceso de asignación permitirá a la persona encargada de la gestión de los turnos liberar una porción significativa de su tiempo.

Este cambio tiene el potencial de generar un ahorro indirecto. Aunque no se produce una reducción directa de costos, la persona encargada podrá dedicar el tiempo que antes se invertía en la organización de turnos a tareas más estratégicas y productivas para la organización. Esto no solo incrementa la eficiencia de la gestión de recursos humanos, sino

que también contribuye al aprovechamiento más eficaz de las capacidades de la persona encargada.

### ***Gestión de Ausencias o Modificaciones en los Turnos:***

Respecto a la gestión de ausencias o modificaciones en los turnos, el proyecto no contempla la adquisición de nuevos sistemas o herramientas especializadas. La persona encargada de la organización de los turnos continuará siendo responsable de gestionar las ausencias imprevistas o modificaciones de última hora. Si bien se podrían explorar herramientas tecnológicas adicionales para mejorar la gestión de estos imprevistos en el futuro, en la actualidad, la secuencia propuesta se adapta a las variaciones sin que implique un esfuerzo desmesurado o una sobrecarga adicional para la persona encargada.

### **Costos Fijos**

En cuanto a los costos fijos asociados a la operación de la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA), es importante considerar varios factores que inciden directamente en los gastos recurrentes, especialmente aquellos relacionados con los servicios y los traslados de los empleados.

### ***Transporte de empleados***

#### **Análisis del Transporte para la OMA**

##### **1. Datos Iniciales**

- **Tarifas de transporte:** Obtenidas mediante llamada telefónica a Expreso Siglo XXI, quien presta servicios como los que requiere la OMA.
  - Trayectos Palmira - Aeropuerto (y viceversa):
    - Vehículo (1 a 4 personas): 80,000 COP.
    - Microbús (5 a 12 personas): 120,000 COP.

- Trayectos Cali - Aeropuerto (y viceversa):
  - Vehículo (1 a 4 personas): 100,000 COP.
  - Microbús (5 a 12 personas): 180,000 COP.
- **Distribución del personal:** Asumiendo que el 50% vive en Palmira y 50% en Cali.
- **Turnos:**
  - Mañana: 4 técnicos.
  - Tarde: 4 técnicos.
  - Noche: 16 técnicos.
- **Días trabajados por esquema:**
  - Esquema actual: 285 días al año.
  - Esquema propuesto: 243 días al año.

## 2. Contratación de Transporte

Por turno, se contrata el transporte de la siguiente forma:

- Salida de la tarde: 2 vehículos (1 para Cali y 1 para Palmira).
- Ingreso del turno de la noche: 2 microbuses (1 desde Cali y 1 desde Palmira).
- Salida del turno de la noche: 2 microbuses (1 para Cali y 1 desde Palmira).
- Ingreso del turno de la mañana: 2 vehículos (1 desde Cali y 1 desde Palmira).

## 3. Costos Diarios

El cálculo de costos diarios se realiza sumando los valores contratados por cada turno:

- Salida de la tarde:

- Cali: 1 vehículo = 100,000 COP.
- Palmira: 1 vehículo = 80,000 COP.
- Total: 180,000 COP.
- Ingreso del turno de la noche:
  - Cali: 1 microbús = 180,000 COP.
  - Palmira: 1 microbús = 120,000 COP.
  - Total: 300,000 COP.
- Salida del turno de la noche:
  - Cali: 1 microbús = 180,000 COP.
  - Palmira: 1 microbús = 120,000 COP.
  - Total: 300,000 COP.
- Ingreso del turno de la mañana:
  - Cali: 1 vehículo = 100,000 COP.
  - Palmira: 1 vehículo = 80,000 COP.
  - Total: 180,000 COP.
- **Costo diario total:** 960,000 COP.

#### **4. Costos Anuales y Mensuales**

- Esquema actual (285 días):  
960,000 x 285 = 273,600,000 COP anualmente.
- Lo que equivale a 22,800,000 COP mensualmente.

- Esquema propuesto (243 días):  
 $960,000 \times 243 = 233,280,000$  COP anualmente.
- Lo que equivale a 19,440,000 COP mensualmente.

### **5. Ahorro Proyectado**

El ahorro anual con el esquema propuesto sería:

$$273,600,000 - 233,280,000 = 40,320,000 \text{ COP.}$$

El ahorro mensual con el esquema propuesto sería:

$$22,800,000 - 19,440,000 = 3,360,000$$

Esto representa una reducción del 14.7 % en los costos de transporte, manteniendo la operatividad del sistema.

### ***Servicios públicos***

Otro ahorro importante se relaciona con los servicios públicos, dado que la reducción de la jornada laboral implica una disminución en el tiempo que cada empleado permanece en el lugar de trabajo. Con el nuevo esquema de turnos, la cantidad de días que se asiste al trabajo anualmente, lo que representa una disminución en el uso de los recursos. Este ahorro se refleja directamente en una menor utilización de agua y energía. En términos específicos:

**Análisis del Consumo de Agua para los 36 Técnicos de la OMA.** Dado que no se pudo obtener información directa sobre el consumo de agua de los técnicos de la OMA, se procedió a investigar y utilizar los promedios de consumo de agua por persona en el contexto colombiano. Para ello, se tomaron referencias de estudios previos que analizan el consumo promedio de agua en los hogares de Bogotá y Colombia, ajustados a un entorno de trabajo.

### ***Base de Datos Utilizada:***

1. **Consumo promedio de agua por persona:** Según los estudios realizados en Bogotá, el consumo de agua por persona varía entre los estratos 2 y 5. Sin embargo, para efectos de este ejercicio, se calculó un promedio de 13.24 m<sup>3</sup> mensual por persona, basado en los consumos reportados para estos estratos (Carranza-Vásquez, 2016). Este valor fue utilizado como un ejemplo representativo del consumo de agua promedio en el contexto del proyecto.
2. **Tarifas de agua:** Según EMCALI (2024), las tarifas de acueducto y alcantarillado para estrato comercial son las siguientes:
  - Tarifa de acueducto: 4618.01 COP/m<sup>3</sup>
  - Tarifa de alcantarillado: 5300.37 COP/m<sup>3</sup>
3. **Supuestos Realizados para el Cálculo:**
  - Se asume que el consumo de agua sigue una distribución similar entre el trabajo y la casa, a excepción de las tareas que se hacen exclusivamente en la casa.
  - Los técnicos de la OMA pasan 1/3 del día trabajando y 2/3 del día en su casa.
  - Dentro de los 2/3 del día en la casa, se asume que 1/3 se destina al sueño, y el restante, 1/3 se dedica a actividades activas como cocinar, lavar ropa y platos.

### ***Cálculos Realizados:***

#### **1. Consumo total de agua mensual por persona:**

El consumo promedio de agua mensual por persona es de 13.24 m<sup>3</sup>, el cual es utilizado como base para el cálculo de los 36 técnicos.

#### **2. Distribución del consumo de agua (actividades que se hacen en la casa):**

- **Consumo de agua para la ducha:**

- El 20.9% del consumo total de agua se destina a las duchas (Peñaranda et al., 2017).
- Consumo por ducha =  $20.9\% \times 13.24 \text{ m}^3 = 2.764 \text{ m}^3$  al mes por persona.
- **Consumo de agua para lavar ropa:**
  - El 27.1% del consumo total de agua se utiliza para el lavado de ropa (Yuquilema Alvarado, 2020).
  - Consumo por lavado de ropa =  $27.1\% \times 13.24 \text{ m}^3 = 3.585 \text{ m}^3$  al mes por persona.
- **Consumo de agua para cocinar y lavar platos:**
  - Se asumió un consumo de 108 litros al día para cocinar y lavar platos, lo que equivale a  $3.24 \text{ m}^3$  al mes por persona (Carranza-Vásquez, 2016).
- **Consumo total de agua para actividades en la casa:** El total de agua consumida en actividades domésticas es la suma de los consumos mencionados anteriormente:
  - Consumo total en casa =  $2.764 \text{ m}^3 + 3.585 \text{ m}^3 + 3.24 \text{ m}^3 = 9.589 \text{ m}^3$  al mes por persona.

### 3. Consumo ajustado de agua en el trabajo:

- **Consumo ajustado total en el trabajo:** El total de consumo de agua es de  $13.24 \text{ m}^3$  al mes, por lo que:
  - Consumo de agua en el trabajo (total) =  $13.24 \text{ m}^3 - 9.589 \text{ m}^3$  (consumo para actividades en la casa) =  $3.651 \text{ m}^3$  al mes por persona.

Este valor,  $3.651 \text{ m}^3$ , es el consumo de agua ajustado en el trabajo para cada técnico.

Ahora, vamos a hacer el ajuste teniendo en cuenta los días trabajados.

#### 4. Cálculo del Consumo de Agua en el Trabajo según los Días Trabajados:

Ahora ajustamos el consumo de agua en el trabajo según la secuencia actual y la propuesta de trabajo.

**Secuencia Actual** (286 días de trabajo al año):

- **Días trabajados al mes:**
  - Días trabajados al mes (sec. actual) =  $286 \text{ días} \div 12 \text{ meses} = 23.83 \text{ días al mes}$ .
- **Consumo ajustado en el trabajo para la secuencia actual:**
  - Consumo ajustado en el trabajo (sec. actual) =  $3.651 \text{ m}^3 \times (23.83 / 30) = 2.91 \text{ m}^3$  al mes por persona.

**Secuencia Propuesta** (243 días de trabajo al año):

- **Días trabajados al mes:**
  - Días trabajados al mes (propuesta) =  $243 \text{ días} \div 12 \text{ meses} = 20.25 \text{ días al mes}$ .
- **Consumo ajustado en el trabajo para la nueva secuencia:**
  - Consumo ajustado en el trabajo (propuesta) =  $3.651 \text{ m}^3 \times (20.25 / 30) = 2.47 \text{ m}^3$  al mes por persona.

**Consumo total ajustado de agua para 36 técnicos:**

**Para la secuencia actual** (286 días al año):

- Consumo total ajustado en el trabajo (sec. actual) =  $2.91 \text{ m}^3 \times 36 = 104.76 \text{ m}^3$  al mes.
- $104.76 \text{ m}^3 \times (4618.01 + 5300.37 \text{ (precio acueducto y alcantarillado x m}^3)) = 1,039,049.48$  COP al mes

**Para la propuesta** (243 días al año):

- Consumo total ajustado en el trabajo (propuesta) =  $2.47 \text{ m}^3 \times 36 = 88.92 \text{ m}^3$  al mes.
- $88.92 \text{ m}^3 \times (4618.01 + 5300.37)$  (precio acueducto y alcantarillado  $\times \text{m}^3$ ) = 881,942.35 COP al mes

### ***Ahorro en Consumo de Agua y Costo***

#### **1. Ahorro en Consumo de Agua:**

Ahorro en consumo de agua entre la secuencia actual y la propuesta:

- Ahorro en consumo de agua =  $104.76 \text{ m}^3 - 88.92 \text{ m}^3 = 15.84 \text{ m}^3$  al mes.

#### **2. Ahorro en Costo de Agua:**

Calculamos el costo de este ahorro utilizando las tarifas de EMCALI para acueducto y alcantarillado.

- **Costo de acueducto (4618.01 COP/m<sup>3</sup>):**
  - Ahorro en costo de acueducto =  $15.84 \text{ m}^3 \times 4618.01 \text{ COP/m}^3 = 73,129.45 \text{ COP}$  al mes.
- **Costo de alcantarillado (5300.37 COP/m<sup>3</sup>):**
  - Ahorro en costo de alcantarillado =  $15.84 \text{ m}^3 \times 5300.37 \text{ COP/m}^3 = 83,974.52 \text{ COP}$  al mes.

#### ***Ahorro total en costo de agua:***

- Ahorro total en costo de agua =  $73,129.45 \text{ COP} + 83,974.52 \text{ COP} = 157,103.97 \text{ COP}$  al mes.

**Análisis del Consumo de Energía para los 36 Técnicos de la OMA.** Dado que no se pudo obtener información directa sobre el consumo de energía de los técnicos de la OMA

(Organización de Mantenimiento Aprobada), se procedió a investigar y utilizar los promedios de consumo de energía por persona en el contexto colombiano. Para ello, se tomaron referencias de estudios previos que analizan el consumo promedio de energía en los hogares de Bogotá y Colombia, ajustados a un entorno de trabajo.

#### **Base de Datos Utilizada:**

1. **Consumo promedio de energía por persona:** Según los estudios realizados en Bogotá, el consumo de energía por persona varía entre los estratos 2 y 5. Sin embargo, para efectos de este ejercicio, se calculó un promedio de 28.38 kWh mensuales, basado en los consumos reportados para dichos estratos (Carranza-Vásquez, 2016). Este valor fue utilizado como un ejemplo representativo del consumo de energía promedio en el contexto del proyecto.
2. **Tarifa de energía:** Según EMCALI (2024), la tarifa de energía eléctrica comercial es de 1054.5859 pesos colombianos por kWh.

#### **Supuestos Realizados para el Cálculo:**

1. **Distribución del consumo entre hogar y trabajo:**
  - Se asume que un técnico de la OMA pasa 1/3 del día trabajando y 2/3 del día en su casa.
  - Dentro de los 2/3 del día en la casa, se asume que 1/3 se destina al sueño, y el restante, 1/3 se dedica a actividades activas, como cocinar, lavar platos, ver televisión, usar la computadora, etc.
2. **Ajuste por el tiempo de trabajo con la secuencia actual y la propuesta:**
  - Sabemos que los técnicos pasan 286 días al año trabajando. Por lo tanto, el cálculo mensual de días trabajados es:

- Días trabajados al mes =  $286 \text{ días al año} \div 12 \text{ meses} = 23.83 \text{ días al mes}$ .
- Y con la propuesta los técnicos pasarán 243 días al año trabajando. Por lo tanto, el cálculo mensual de días trabajados es:
  - Días trabajados al mes =  $243 \text{ días al año} \div 12 \text{ meses} = 20.25 \text{ días al mes}$ .

### 3. Eliminación de consumo de la lavadora:

- Arango Vásquez (2018) menciona que la lavadora representa el 11.8% del consumo de energía en el hogar. Como la lavadora es un aparato exclusivo del hogar, se eliminó este porcentaje del cálculo total para el trabajo, dado que no es relevante en el entorno laboral. Asimismo, no se incluyeron otros consumos típicos del hogar, como los de computadores, televisores, neveras, lámparas, entre otros, ya que estos equipos son igualmente utilizados en el ámbito laboral, por lo que sus consumos se consideran equivalentes entre ambos contextos.

### Cálculos Realizados:

#### 1. Consumo total de energía mensual por persona:

- El consumo promedio de energía mensual por persona es de 28.38 kWh. Este es el valor base con el que se comienza el cálculo para cada uno de los 36 técnicos.

#### 2. Reducción por uso de la lavadora:

- Sabemos que la lavadora consume el 11.8% del total de energía en el hogar, por lo que este consumo se elimina para las actividades laborales.

- El cálculo es:
  - Energía a eliminar =  $11.8\% \times 28.38 \text{ kWh} = 3.35 \text{ kWh}$ .

### 3. Consumo ajustado de energía en el trabajo:

- Después de eliminar el consumo de la lavadora, el consumo de energía ajustado para las actividades en el trabajo será:
  - Consumo ajustado en el trabajo =  $28.38 \text{ kWh} - 3.35 \text{ kWh} = 25.03 \text{ kWh}$  al mes por persona.
- Pero, como los técnicos pasan 23.83 días al mes en el trabajo, el consumo total ajustado de energía en el trabajo se calcula como el porcentaje de tiempo trabajado:
  - Consumo ajustado en el trabajo (ajustado) =  $25.03 \text{ kWh} \times 23.83 \text{ días} \div 30 \text{ días} = 19.88 \text{ kWh}$  al mes por persona.
- Y con la propuesta los técnicos pasarán 20.25 días al mes en el trabajo, el consumo total ajustado de energía en el trabajo se calcula como el porcentaje de tiempo trabajado:
  - Consumo ajustado en el trabajo (ajustado) =  $25.03 \text{ kWh} \times 20.25 \text{ días} \div 30 \text{ días} = 16.86 \text{ kWh}$  al mes por persona.

### 4. Consumo total ajustado de energía para 36 técnicos en la secuencia actual y la propuesta:

- Finalmente, el consumo total ajustado de energía para los **36 técnicos** de la OMA es:

- Consumo total de la secuencia actual ajustado de energía para 36 técnicos =  $19.88 \text{ kWh/persona} \times 36 = 715.68 \text{ kWh al mes.}$
- Consumo total de la propuesta ajustado de energía para 36 técnicos =  $16.86 \text{ kWh/persona} \times 36 = 607.08 \text{ kWh al mes.}$

#### 5. Cálculo del costo de la energía:

- Con la tarifa de 1054.5859 COP/kWh, el costo de la energía para los 36 técnicos es:
  - Costo total de energía =  $715.68 \text{ kWh} \times 1054.5859 \text{ COP/kWh} = 754,746.04 \text{ COP al mes.}$
  - Costo total de energía con la propuesta =  $607.08 \text{ kWh} \times 1054.5859 \text{ COP/kWh} = 640,901.23 \text{ COP al mes.}$

#### ***Ahorro total en el costo de energía:***

$$754,746.04 - 640,901.23 = 104,844.81 \text{ COP al mes}$$

#### **Gastos Generales**

Los gastos generales asociados al proyecto no presentan incrementos, dado que las funciones administrativas relacionadas con la reestructuración de los turnos serán gestionadas por la misma persona encargada actualmente de este proceso. Como resultado, no se generarán costos adicionales en términos de personal para la administración de los turnos. Al contrario, la reducción de la carga laboral de esta persona facilitará la organización y seguimiento de los turnos, optimizando su tiempo para realizar otras tareas que aumenten su productividad.

Además, no se requiere de inversión adicional en comunicación o coordinación, ya que estos procesos seguirán siendo ejecutados con los recursos humanos y las herramientas actualmente disponibles en la organización.

### **Costos de Inversión**

En este caso, el proyecto no requiere una inversión significativa en software o herramientas tecnológicas, ya que la secuencia de turnos es fija y no es necesario un sistema especializado. La gestión de los turnos podría seguir realizándose mediante las herramientas actuales utilizadas por el personal encargado, por lo que no se prevén costos de adquisición de software ni licencias adicionales.

En cuanto a los permisos, al ser una reestructuración interna y no implicar una modificación en la actividad operativa o en la estructura organizativa, no se anticipa la necesidad de permisos adicionales.

Por lo tanto, el proyecto no tendría gastos de inversión adicionales asociados a estos conceptos.

### **Capital de Trabajo**

En este caso, dado que el proyecto se enfoca en la reestructuración de los turnos sin requerir cambios significativos en la infraestructura o en la adquisición de nuevos recursos, el capital de trabajo necesario se reduciría al mínimo. Sin embargo, es importante considerar los costos operativos durante la fase de transición, es decir, el tiempo que podría llevar adaptar y consolidar la nueva secuencia de turnos sin afectar la operación diaria de la organización.

Este capital podría incluir:

- **Costos asociados al seguimiento de la transición:** Como la persona encargada de gestionar los turnos podría verse aliviada de una carga, no se prevé un aumento en los gastos asociados a la administración de los turnos, pero sí es posible que se requiera una pequeña asignación para el seguimiento del impacto de la nueva secuencia durante

los primeros meses. Esto puede implicar la recopilación de retroalimentación del personal técnico y la coordinación de ajustes menores si fuera necesario.

- **Costos indirectos:** Si bien no se anticipan grandes inversiones, es posible que se destinen recursos para monitorear el impacto social y operativo de la reestructuración, lo que podría implicar tiempo administrativo o pequeñas capacitaciones informativas para el personal sobre cómo funcionarán los nuevos turnos.

En términos generales, el capital de trabajo se mantendría bajo debido a la naturaleza del proyecto, dado que la mayor parte de los recursos humanos y materiales ya están disponibles. Sin embargo, se debe prever un fondo para cubrir posibles necesidades operativas a corto plazo durante el proceso de ajuste, las cuales no deberían ser sustanciales.

### **Rentabilidad y Margen de Ganancia**

Dado que la empresa no proporcionó autorización para utilizar su nombre ni para divulgar información financiera específica, los beneficios potenciales del proyecto se presentan en términos de porcentajes y tendencias, garantizando la confidencialidad de los datos. A pesar de no incluir cifras exactas, el análisis permite identificar los ahorros y mejoras derivados de la reestructuración de los turnos de trabajo.

Aunque el proyecto no implica una inversión significativa, se anticipan ahorros sustanciales y mejoras indirectas en la rentabilidad de la empresa, principalmente a través de la reducción de costos operativos en áreas como los servicios públicos y el transporte de empleados.

### ***Impacto en la Rentabilidad***

Los ahorros derivados de la reducción en servicios públicos y la disminución de los costos de transporte no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también contribuyen a la sostenibilidad financiera de la empresa a largo plazo. Aunque no se pueden detallar valores

exactos debido a la falta de información y a las restricciones de confidencialidad, estos porcentajes representan un impacto significativo en el ahorro económico de la organización.

A continuación, se resumen los costos actuales y los beneficios proyectados tras la implementación del esquema de turnos 5-2, 5-3.

**Tabla 7**

*Impacto de la propuesta 5-2, 5-3 en la reducción de recursos y días de asistencia*

<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>	<b>Secuencia Actual</b>	<b>Secuencia Propuesta</b>	<b>Ahorro</b>
<b>Transporte de empleados</b>	Costo diario total del transporte	960,000 COP	960,000 COP	-
	Costo mensual del transporte	22,800,000 COP	19,440,000 COP	3,360,000 COP
<b>Consumo de agua</b>	Consumo mensual por técnico (m <sup>3</sup> )	2.91	2.47	0.44 m <sup>3</sup>
	Consumo total mensual (36 técnicos, m <sup>3</sup> )	104.76	88.92	15.84 m <sup>3</sup>
	Costo total mensual de agua	1,039,049.48 COP	881,942.35 COP	157,103.97 COP
<b>Consumo de energía</b>	Consumo mensual por técnico (kWh)	19.88	16.86	3.02 kWh
	Consumo total mensual (36 técnicos, kWh)	715.68	607.08	108.60 kWh
	Costo total mensual de energía	754,746.04 COP	640,901.23 COP	104,844.81 COP
<b>Ahorro total mensual</b>	Transporte, agua y energía	-	-	3,622,948.78 COP
<b>Ahorro total anual</b>	Transporte, agua y energía	-	-	43,475,385.36 COP

*Nota.* La tabla resume los costos asociados al transporte, consumo de agua y consumo de energía bajo la condición actual y la propuesta alternativa de turnos. Además, muestra los ahorros significativos mensuales y anuales derivados de la reducción de días trabajados, destacando el impacto positivo en los costos operativos de la OMA.

El proyecto demuestra cómo una reestructuración interna basada en el uso de recursos existentes puede generar beneficios económicos y operativos sustanciales sin requerir inversiones significativas. Este enfoque se alinea con las metas de sostenibilidad financiera y ambiental de la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA).

## **Conclusiones**

El presente proyecto de grado logró diseñar y evaluar propuestas de turnos alternativos para la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA), cumpliendo con el objetivo principal de adaptarse a la reducción progresiva de la jornada laboral semanal establecida por la Ley 2101 de 2021. Mediante un análisis integral, se desarrollaron soluciones operativas que maximizan el uso de los recursos disponibles, aseguran el cumplimiento normativo y mejoran la calidad de vida del personal técnico.

## **Aspectos Novedosos del Proyecto**

Uno de los aspectos más innovadores de este proyecto es la metodología empleada para diseñar secuencias de turnos equilibradas y adaptadas a las necesidades específicas del sector de mantenimiento aeronáutico. Se consideraron no solo las restricciones normativas y operativas, sino también la percepción del equipo técnico, obtenida a través de encuestas, para garantizar la aceptación de las propuestas. La selección final de la secuencia **5-2, 5-3** no solo asegura estabilidad operativa, sino que también prioriza el bienestar del equipo técnico al reducir días asistidos al trabajo y aumentar la predictibilidad de los turnos.

## **Replicabilidad del Modelo**

### ***Replicabilidad en Otras Bases de la OMA***

El modelo de secuencia de turnos propuesto se basa en un diseño sencillo pero efectivo que garantiza la distribución equilibrada de la carga de trabajo entre los turnos, especialmente

en contextos donde se presenta un pico de alta demanda en los turnos nocturnos. La replicabilidad de este modelo dentro de las bases de la OMA es sencilla porque todas las bases operan con el mismo patrón de carga para cada turno. En este patrón, el turno de noche cubre el 66.7% de la carga operativa, mientras que los turnos de mañana y tarde solo requieren el 16.7% de la carga operativa cada uno.

**Asignación de Técnicos a Grupos.** El aspecto clave para mantener la replicabilidad entre bases es la asignación adecuada de técnicos a cada uno de los grupos de turnos, asegurando que todos los grupos cuenten con las capacidades necesarias. Esto asegura que ningún grupo esté sobrecargado, mientras que los demás no tengan una carga insuficiente de trabajo.

La asignación debe hacerse de manera cuidadosa para que en cada turno haya un número suficiente de técnicos capacitados para satisfacer la demanda operativa. Además, es crucial que cada grupo tenga habilidades y capacidades equilibradas para cumplir con las necesidades del turno asignado, de modo que no haya sobrecarga en los turnos nocturnos, ni falta de personal en los turnos de mañana o tarde.

### ***Replicabilidad en Otros Sectores***

Aunque la replicabilidad dentro de la OMA es sencilla, cuando se trata de replicar el modelo en otros sectores que operan 24/7, como en mantenimiento industrial, servicios de emergencia u hospitales, el proceso se complica un poco más. Esto se debe a que muchos de estos sectores tienen carga operativa equilibrada entre los turnos de mañana, tarde y noche. En estos casos, sería necesario ajustar la distribución de la carga de trabajo entre los turnos para adaptarlo a las necesidades particulares de cada sector.

**Técnica para Replicar el Modelo en otros Sectores.** Uno de los aspectos cruciales de la replicabilidad del modelo es mantener un equilibrio perfecto entre los días consecutivos trabajados y los días de descanso, ya que cualquier desequilibrio en esta distribución puede

llevar a una sobrecarga de trabajo para algunos grupos y una baja utilización de los recursos en otros en adición que puede haber días donde se dupliquen los mismos turnos que no son necesarios.

A continuación, recuerdo cómo se debe manejar este equilibrio, utilizando ejemplos

***Ejemplos de Días Consecutivos Trabajados.*** Para garantizar que la carga de trabajo esté equilibrada en todos los turnos, es fundamental que el número de días consecutivos trabajados sea igual en toda la secuencia. Esto significa que, si un grupo de técnicos trabaja durante 5 días consecutivos, todos los ciclos de trabajo deben seguir el mismo patrón de 5 días consecutivos de trabajo sin alteraciones, y lo mismo ocurre con secuencias de 6 días consecutivos de trabajo.

**Secuencias que sí cumplen con el principio:**

- **Secuencia 5-2, 5-2, 5-1:**

En esta secuencia, siempre se trabajan 5 días consecutivos, seguidos de una cantidad de días de descanso. Aunque el número de días de descanso puede variar (2 o 1, dependiendo del ciclo), el número de días consecutivos trabajados siempre es 5 en todos los ciclos. Esto asegura que la carga de trabajo se distribuya de forma equilibrada, ya que todos los turnos siguen el mismo patrón de trabajo.

- **Secuencia 6-1, 6-2, 6-3:**

En esta secuencia, siempre se trabajan 6 días consecutivos de forma continua. Después de cada ciclo de 6 días de trabajo, se asigna un número correspondiente de días de descanso (1, 2 o 3, dependiendo del ciclo). Este patrón uniforme asegura que el esfuerzo de trabajo se mantenga constante y balanceado entre los grupos, sin ninguna fluctuación en el número de días consecutivos trabajados.

**Secuencias que no cumplen con el principio:**

- **Secuencia 5-2, 4-3:** En este caso, la secuencia no cumple con el principio porque hay un ciclo donde se trabajan 5 días consecutivos de trabajo, pero en otro ciclo solo se trabajan 4 días consecutivos. Esto crea un desajuste en la carga de trabajo, ya que el número de días consecutivos trabajados no es constante a lo largo de la secuencia. Esta variabilidad puede generar desequilibrios en la distribución de la carga operativa, lo que lleva a sobrecargar a algunos grupos y a subutilizar otros.
- **Secuencia 6-1, 5-2, 6-1:** En esta secuencia, aunque en el primer y último ciclo se trabajan 6 días consecutivos, en el segundo ciclo se trabajan solo 5 días consecutivos. Esta variabilidad en el número de días consecutivos trabajados provoca un desequilibrio en la distribución de las tareas, lo que puede resultar en un desajuste de la carga operativa en los diferentes turnos.

**Ejemplos de Días de Descanso.** Los días de descanso pueden distribuirse de cualquier manera dentro de la secuencia, siempre y cuando se mantenga la igualdad de días de descanso en relación con los días consecutivos trabajados en cada secuencia. Es decir, el número de días de descanso debe ser igual al número de días consecutivos trabajados en la secuencia, para garantizar el equilibrio entre los grupos de trabajo. De esta manera, se asegura que ningún grupo esté sobrecargado o descansando en exceso, manteniendo la cobertura operativa equilibrada. A continuación, se presentan algunos ejemplos de cómo se distribuyen los días de descanso y algunos ejemplos que no cumplen con el equilibrio requerido.

**Secuencias que cumplen con el equilibrio:**

- **Secuencia 5-1, 5-1, 5-3:** El personal trabaja 5 días consecutivos y la suma de sus descansos es de 5 días. La distribución de los días de descanso mantiene el equilibrio porque, en total, el número de días de descanso es igual a los días consecutivos trabajados.

- **Secuencia 6-1, 6-2, 6-3:** Aquí, el personal trabaja 6 días consecutivos y la suma de sus descansos es de 6 días. Al igual que en el caso anterior, la proporción entre días trabajados consecutivamente y días descansados es equilibrada.

**Secuencias que no cumplen con el equilibrio:**

- **Secuencia 5-1, 5-1, 5-2:** En esta secuencia, el personal trabaja 5 días consecutivos pero la suma de sus descansos es de 4 días. Aunque parece que el descanso sigue una lógica, no se cumple el principio de que el número de días de descanso debe ser igual a los días trabajados consecutivamente. En este caso, el descanso no está balanceado, lo que puede generar desequilibrios en la carga de trabajo.
- **Secuencia 6-2, 6-2, 6-3:** Aquí, el personal trabaja 6 días consecutivos la suma de sus descansos es de 7 días. Aunque la secuencia parece equilibrada en cuanto a la cantidad de días trabajados y descansados, el descanso no está proporcionalmente equilibrado con los días consecutivos de trabajo, lo que podría generar sobrecarga en algunos grupos.

**Equilibrio Perfecto en Todos los Grupos.** El concepto clave aquí es que el modelo debe asegurar que haya un equilibrio perfecto en la distribución de los turnos, tanto en días consecutivos trabajados como en la proporción de días de descanso. Para esto, es necesario realizar un ajuste continuo y preciso de las secuencias de turnos, asegurando que:

- Los días de descanso y días consecutivos de trabajo se mantengan en proporción, evitando cualquier tipo de sobrecarga o falta de cobertura.
- El personal asignado a cada grupo tenga la capacitación necesaria para cumplir con las demandas operativas, sin que un grupo esté más sobrecargado que otros.

- Siempre haya la misma cantidad de grupos cubriendo las operaciones durante cada ciclo de trabajo.

### ***Fortalecimiento de la Replicabilidad del Modelo***

El modelo propuesto, basado en la secuencia 5-2, 5-3, ha demostrado ser adaptable a diferentes contextos operativos dentro y fuera de la OMA, gracias a su diseño estructurado y la alineación con principios de ergonomía y eficiencia operativa. Sin embargo, para maximizar su efectividad y aceptación, es esencial considerar ciertos factores críticos:

- **Homogeneidad Operativa en la OMA:**

La uniformidad en los patrones de carga operativa de las bases de la OMA facilita la replicabilidad del modelo sin necesidad de modificaciones significativas. No obstante, es importante llevar a cabo una evaluación preliminar de las particularidades de cada base para ajustar la asignación de técnicos y garantizar que las habilidades y capacidades del personal estén alineadas con las demandas específicas de cada turno.

- **Consideraciones Culturales y Organizacionales en Otros Sectores:**

La replicabilidad del modelo en sectores externos, como hospitales o servicios de emergencia, requeriría ajustes específicos para abordar las diferencias culturales y organizacionales inherentes a cada industria. Por ejemplo, en sectores con carga operativa uniforme entre turnos diurnos y nocturnos, el diseño debería enfocarse en ajustarse a las necesidades particulares de cada operación.

- **Adaptación a Restricciones Normativas y Tecnológicas:**

Mientras que el modelo respeta las normativas aplicables en Colombia, como la Ley 2101 de 2021, su implementación en otros contextos podría requerir ajustes para cumplir con marcos regulatorios diferentes. Asimismo, la integración de tecnologías de gestión de turnos, como software automatizado, podría potenciar su aplicabilidad en sectores más complejos.

- **Validación Continua:**

La replicabilidad exitosa requiere un proceso de validación continuo para ajustar el modelo a las variaciones en demanda operativa, capacidades del personal y condiciones laborales. Esto incluye el uso de simulaciones y la recopilación de retroalimentación constante del personal, asegurando que el modelo se mantenga efectivo y sostenible a largo plazo.

**Conclusión sobre la Replicabilidad.** El modelo propuesto no solo cumple con los requerimientos actuales de la OMA, sino que también establece una base sólida para su aplicación en otros contextos operativos. Su flexibilidad y diseño centrado en el equilibrio entre trabajo y descanso lo convierten en una solución viable y escalable. No obstante, su éxito dependerá de la capacidad para adaptarlo a las características específicas de cada entorno, sin perder de vista los principios de eficiencia operativa y bienestar laboral.

### **Grado de Cumplimiento de los Objetivos**

El proyecto cumplió plenamente con los objetivos planteados, logrando los siguientes resultados:

#### ***En el Objetivo General***

Se propuso una secuencia de turnos alternativa para la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA), en respuesta a la reducción de la jornada laboral. El modelo propuesto cumplió con la normativa de 42 horas semanales para 2026, mantuvo una cobertura operativa continua, redujo al mínimo los tiempos de empalme y también redujo los costos operativos, mientras que mejoró el bienestar del equipo técnico.

#### ***En los Objetivos Específicos***

1. **Análisis del Sistema de Turnos.** Se identificaron problemas clave del sistema actual, como la insuficiencia de empalmes y la falta de previsibilidad de los turnos, que

afectaban la productividad y la calidad de vida del personal. Este análisis permitió identificar las modificaciones necesarias para garantizar el cumplimiento de las normativas y mejorar el sistema en general.

2. **Desarrollo de una Secuencia de Turnos.** Se diseñaron y simularon varias propuestas de secuencias de turnos que cumplieran con las normativas de reducción de jornada laboral y mejoraban la distribución de la carga laboral. Las simulaciones confirmaron la efectividad del modelo, permitiendo que se mantuviera la cobertura operativa sin comprometer la productividad o el bienestar de los empleados.
3. **Distribución Equitativa de los Turnos.** Se ajustaron las secuencias de los turnos mediante simulaciones empíricas, garantizando que la carga laboral estuviera distribuida de manera equitativa entre los diferentes grupos de trabajo. La implementación de la predictibilidad de los turnos permitió una mejor planificación del tiempo personal del equipo, lo que contribuye a un ambiente laboral más equilibrado y satisfactorio.
4. **Validación de la Viabilidad y el Impacto.** Las simulaciones y encuestas al personal confirmaron que las propuestas no solo eran viables desde el punto de vista económico, sino que también mejoraban el bienestar del personal técnico y optimizaban los costos operativos. El análisis permitió ajustar las estructuras de turnos, consolidando un modelo de rotación más eficiente y alineado con las necesidades tanto de la organización como de los empleados.

## **Relación de los Resultados con el Marco Teórico y Metodológico**

### ***Relación con el Marco Teórico***

Los resultados obtenidos en este proyecto están fundamentados en teorías sobre gestión de turnos y ergonomía laboral, que enfatizan la importancia de equilibrar las demandas operativas con el bienestar del personal técnico. Según los principios establecidos en la ISO

45001, el diseño de turnos debe priorizar la seguridad y salud en el trabajo, un objetivo cumplido con la secuencia 5-2, 5-3. Esta secuencia no solo reduce la frecuencia de asistencia al lugar de trabajo, sino que también garantiza períodos de descanso adecuados, contribuyendo a disminuir la fatiga laboral.

Adicionalmente, el marco teórico destaca la relación entre el diseño eficiente de turnos y el aumento de la productividad. La aplicación de modelos de distribución equitativa, como lo siguieron Wright, Brown y Díaz (2019), permitió maximizar la cobertura operativa sin necesidad de incrementar los recursos humanos. Esto refuerza la sostenibilidad del modelo propuesto tanto a corto como a largo plazo.

### ***Relación con el Marco Metodológico***

Metodológicamente, los resultados obtenidos reflejan el éxito del enfoque integral adoptado, que incluyó simulaciones, análisis normativo y consultas cualitativas mediante encuestas. Las simulaciones fueron clave para evaluar diferentes escenarios operativos y validar la viabilidad de la propuesta seleccionada. Este enfoque cuantitativo permitió comparar métricas como la reducción de costos operativos y el cumplimiento de la carga de trabajo en los turnos asignados.

Por otro lado, las encuestas aplicadas al personal técnico proporcionaron información cualitativa valiosa sobre la aceptación y percepción del modelo propuesto. Este componente metodológico aseguró que las soluciones fueran no solo operativamente efectivas, sino también socialmente aceptables, un aspecto crucial para la implementación exitosa del proyecto.

Finalmente, la alineación entre el marco teórico y metodológico se evidencia en la capacidad del modelo propuesto para cumplir con los objetivos planteados, al mismo tiempo que aborda las restricciones normativas y operativas. Esto demuestra que el diseño de turnos

no solo mejora el rendimiento organizacional, sino que también contribuye al bienestar laboral, en línea con los principios fundamentales de ergonomía y sostenibilidad.

### **Limitaciones del Proyecto**

A pesar de los logros, el proyecto enfrentó algunas limitaciones:

- La falta de datos detallados sobre los costos logísticos específicos limitó la precisión del análisis económico.
- Las propuestas se basaron en supuestos requerimientos actuales, lo que podría requerir ajustes si las necesidades de la OMA cambian en el futuro.

### **Proyecciones y Posibilidades Futuras**

El proyecto sienta una base sólida para futuras implementaciones y estudios relacionados con la mejora de secuencia de turnos en el sector de mantenimiento aeronáutico.

Entre las posibilidades futuras destacan:

- Extensión del modelo a otras bases operativas de la OMA, con la posibilidad de adaptarlo a sus necesidades particulares, creando así un estándar de eficiencia operacional y bienestar laboral, con un seguimiento continuo para evaluar su impacto en el rendimiento operativo y la satisfacción del personal.
- Desarrollo de sistemas automatizados para gestionar turnos, que permitan ajustes dinámicos según cambios en la demanda operativa.
- Profundización en el análisis económico, considerando el impacto a largo plazo en indicadores financieros y de productividad.
- Investigación y adaptación del modelo para otros sectores industriales que enfrenten desafíos similares de cobertura continua, como el mantenimiento industrial, la manufactura, o incluso servicios de emergencia.

### Referencias Bibliográficas

- AL-hrinat, J., Al-Ansi, A.M., Hendi, A. et al. (2024). The impact of night shift stress and sleep disturbance on nurses quality of life: case in Palestine Red Crescent and Al-Ahli Hospital. *BMC Nurs*, 23, 24. <https://doi.org/10.1186/s12912-023-01673-3>
- Alonso, N. (2023). La disminución de la jornada laboral mejora las condiciones contractuales del trabajador. Repositorio Universidad Gran Colombia. Recuperado de <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/7797>
- Arango Vásquez, J. (2018). *Estrategias energéticas aplicables a la administración de edificaciones residenciales y comerciales en Colombia*.
- Azevedo, M., & Oliveira, J. (2019). Alineación de turnos con normativas laborales y su impacto en la eficiencia operativa. *International Journal of Operations and Production Management*, 24(6), 1080-1092. Recuperado de <https://www.ijopm.com>
- Banco de la República. (2023). Informe sobre inflación y proyecciones económicas. Recuperado de <https://www.banrep.gov.co>
- Barrios, J., & Téllez, P. (2021). Optimización de turnos en el mantenimiento aeronáutico: análisis de eficiencia operativa. *Journal of Industrial Operations*, 12(3), 45-58.
- Blake, R. (2018). Evaluating static and dynamic shift systems: A comparative study. *Workforce Management Insights*, 6(3), 33-47.
- Borreguero-Sanchidrián, A., et al. (2024). Optimización de la planificación de recursos en entornos industriales complejos: Aplicación en mantenimiento aeronáutico. *Journal of Aerospace Engineering*, 28(2), 112-126. Recuperado de <https://www.aerospacejournal.com>
- Burney, V., Arnold-Saritepe, A., & McCann, C.M. (2024). How Can Qualitative Methods Be Applied to Behavior Analytic Research: A Discussion and Suggestions for

- Implementation. *Behav Analysis Practice*, 17, 431–441. <https://doi.org/10.1007/s40617-024-00917-1>
- Carranza-Vásquez, L. (2016). Diferencias entre las actitudes proambientales y el consumo de servicios públicos (agua y energía eléctrica) en estratos 2 y 5 de la ciudad de Bogotá. *Revista Perspectiva Empresarial*, 3(2), 83–94. <https://doi.org/10.16967/rpe.v3n2a7>
- Carvajal, L., & Méndez, M. (2021). Reducción de costos en el sector industrial mediante turnos flexibles. *Revista de Mantenimiento Industrial*, 9(2), 134-145. Recuperado de <https://www.mantenimientoindustrial.com>
- Costa, G. (2020). Healthy shift work practices in aviation maintenance. *International Journal of Aviation Management*, 8(4), 276-293. <https://doi.org/10.1504/IJAM.2020.098762>
- Cubillos, C., & López, Y. (2019). Fatiga laboral, accidentes e incidentes laborales en trabajadores de la salud y sectores críticos. *Revista de Salud Ocupacional*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com>
- del Pilar Quiñones-Rozo, L., Canaval-Erazo, G.E. (2024). Quality of work life for health professions in Colombia's adult critical care: An integrative analysis. *BMC Health Serv Res*, 24, 582. <https://doi.org/10.1186/s12913-024-10780-z>
- EMCALI. (2024). Tarifas Mercado Regulado 2024. En *Tarifas de energía*. <https://www.emcali.com.co/web/energia/mercado-regulado>
- EMCALI. (s. f.). Tarifas de acueducto y alcantarillado. En *Tarifas a partir del segundo semestre de 2024*. Recuperado 14 de diciembre de 2024, de <https://www.emcali.com.co/documents/d/acueducto/tarifas-segundo-semestre-2024>
- Espinosa Buelvas, M. P., León Vargas, G., & Alvarado, A. (2023). Implicaciones de la reducción de la jornada laboral de las instituciones prestadoras de salud. *CURN*. Recuperado de <http://site.curn.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/650/2/Pat%206%20semestre%20derecho%202-2023.pdf>

- Fisher, M., & others. (2019). Why empirical research is good for operations management, and what is good empirical operations management? *Manufacturing & Service Operations Management*, 21(3). <https://doi.org/10.1287/msom.2019.0812>
- Fraser, K., & Charles, L. (2019). The impact of dynamic shift scheduling on employee satisfaction and operational efficiency. *International Journal of Logistics*, 8(2), 95-112.
- Gan, Z., Gan, J., Zhou, Z.E. et al. (2024). Organizational Benefits of Commuting Support: The Impact of Flexible Working Hours on Employees' OCB through Commuting Control. *Social Indicators Research*, 174, 75–89. <https://doi.org/10.1007/s11205-024-03378-9>
- Garzón Franco, C. M. (2023). Turnos adaptativos y su impacto en la productividad: Un enfoque práctico en el sector logístico. *Revista de Logística y Operaciones*, 21(1), 40-52.  
Recuperado de <https://www.logisticanacional.org>
- González, R., & Rivera, M. (2020). Static shift schedules in industrial operations: benefits and limitations. *Industrial Management Review*, 10(4), 120-137.
- Guénel, P., Léger, D. (2023). Health Effects of Shift Work and Night Shift Work. In: Wahrendorf, M., Chandola, T., Descatha, A. (eds) *Handbook of Life Course Occupational Health*. Handbook Series in Occupational Health Sciences. Springer, Cham. [https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1007/978-3-030-94023-2\\_19-1](https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1007/978-3-030-94023-2_19-1)
- Helmold, M., Küçük Yılmaz, A., Flouris, T., Winner, T., Cvetkoska, V., Dathe, T. (2022). Lean Management in Aviation. In: *Lean Management, Kaizen, Kata and Keiretsu*. Management for Professionals. Springer, Cham. [https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1007/978-3-031-10104-5\\_12](https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1007/978-3-031-10104-5_12)
- Herrera, A., & Molina, P. (2020). Capacitación para la adaptación a nuevos sistemas de turnos. *Human Resource Development Quarterly*, 18(3), 221-232. Recuperado de <https://www.hrdq.com>

International Labour Organization (ILO). (2019). Guidelines on the management of shift work: Minimizing risks for workers and companies. International Labour Conference.

Recuperado de <https://www.ilo.org>.

International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 10075: Ergonomía - Principios y directrices para la reducción de la fatiga laboral. Recuperado de <https://www.iso.org>

International Organization for Standardization. (2018). ISO 10075: Ergonomic principles related to mental workload. Ginebra: ISO.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 45001: Occupational health and safety management systems. Ginebra: ISO.

Jiang, B., Ma, Y., Chen, L. *et al.* A Review on Intelligent Scheduling and Optimization for Flexible Job Shop. *Int. J. Control Autom. Syst.* 21, 3127–3150 (2023). [https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1007/s12555-023-0578-1](https://doi.org/bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1007/s12555-023-0578-1)

Kogi, K., & Härmä, M. (2017). Shift work and the circadian system. *Sleep Medicine Reviews*, 35, 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2016.09.003>

Liu, L., Jones, B.F., Uzzi, B. *et al.* (2023). Data, measurement and empirical methods in the science of science. *Nature Human Behaviour*, 7, 1046–1058. <https://doi.org/10.1038/s41562-023-01562-4>

López, J., & Martínez, A. (2019). Cumplimiento de normas internacionales en el mantenimiento aeronáutico: Mejora en la seguridad y productividad. *Revista de Gestión Aeronáutica*, 15(1), 45-59. Recuperado de <https://www.aviationjournal.com>

Ma, K., Yang, C., Xu, H. *et al.* (2024). A fast-flexible strategy based approach to solving employee scheduling problem considering soft work time. *Scientific Reports*, 14, 6170. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56745-4>

Malhotra, P., & Ravi, S. (2018). Dynamic scheduling in high-demand environments: A case study approach. *Operational Research Journal*, 15(1), 50-70.

- Martínez, A., & Blanco, C. (2020). Eficiencia operativa y satisfacción laboral: El impacto de los turnos equitativos. *Revista de Gestión Empresarial*, 18(4), 90-105. Recuperado de <https://www.ugee.edu>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). Decreto 1072 de 2015: Regulación de la seguridad y salud en el trabajo. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co>
- Ministerio del Trabajo. (2013). Ley 1610 de 2013: Código Sustantivo del Trabajo - Régimen del descanso semanal. Recuperado de <https://www.mintrabajo.gov.co>.
- Ministerio del Trabajo. (2021). Ley 2101 de 2021: Reducción de la jornada laboral. Recuperado de <https://www.mintrabajo.gov.co>
- Moraes, G.R., Ullah, I., & de Tomi, G. (2024). Determining an Optimal Shiftwork Duration by Comparative Analysis of Active and Inactive Hours in Underground Mining: a Case Study. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 41, 1337–1349. <https://doi.org/10.1007/s42461-024-01003-4>
- Morales, L. (2021). Heurísticas avanzadas en sistemas de planificación de turnos: Reducción de costos y mejora del bienestar laboral. *Revista de Optimización Industrial*, 30(3), 115-129. Recuperado de <https://www.optimizaciónindustria.com>
- Muñoz, L. (2022). Implicaciones de la ley de reducción de horas laborales para empresas de operación continua en Colombia. *Revista Laboral Colombiana*, 18(1), 45-67.
- Niu, B., Xue, B., Zhou, T., Zhang, C., Xiao, Q. (2021). Reorganized Bacterial Foraging Optimization Algorithm for Aircraft Maintenance Technician Scheduling Problem. In: Tan, Y., Shi, Y. (eds) *Advances in Swarm Intelligence. ICSI 2021. Lecture Notes in Computer Science*, vol 12689. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78743-1\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78743-1_45)
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2022). Directrices para la gestión de turnos nocturnos y rotativos en el personal aeronáutico. Recuperado de <https://www.oaci.org>

- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2022). Manual de Factores Humanos en el Mantenimiento de la Aviación. Recuperado de <https://www.icao.int>.
- Peñaranda Palacios, C. N. ., Pinzón Bustamente, L. D. ., Gómez, D. A. ., Tachack Gil, C. C. ., & Aldana Castellanos, S. F. . (2017). DESPERDICIO DE AGUA EN LAS DUCHAS DE BOGOTÁ. *Encuentro Internacional De Educación En Ingeniería*.  
<https://doi.org/10.26507/ponencia.626>
- Pereira, P., & Lopes, S. (2022). The impact of shift work on employee mental health and performance in high-risk industries. *International Journal of Occupational Safety and Health*. Recuperado de <https://www.iosh.co.uk>.
- Pérez, A., García, L., & González, F. (2013). Los horarios laborales y su influencia en la percepción del equilibrio trabajo-familia: Una revisión de literatura. Universidad de Rosario. Recuperado de [repository.urosario.edu.co](https://repository.urosario.edu.co).
- Restrepo, M. (2014). Impacto de la jornada laboral en la productividad y la salud de los trabajadores. *Revista Colombiana de Salud Pública*. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co>
- Rodríguez Quintero, J. A. (2023). La normatividad legal que afecta la estabilidad laboral en las empresas de vigilancia y seguridad privada. Repositorio Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10654/45652>
- Roth, A., & Rosenzweig, E. (2020). Advancing empirical science in operations management research: A clarion call to action. *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(3). <https://doi.org/10.1287/msom.2019.0829>
- Salas, L. C., Muñoz, A. J. P., Turizo, C. P., & Claros, E. R. (2022). Acciones para mitigar los efectos negativos de la Ley 2101 de 2021 en ORTOPSALUD IPS SAS: Una mirada desde el empleador. *Digitk Areandina*. Recuperado de <https://digitk.areandina.edu.co/server/api/core/bitstreams/704b518a-6ec9-4401-a82c-33447b6466ee/content>

- Silva, C., Andrade, P., Ribeiro, B., et al. (2023). Adaptive reinforcement learning for task scheduling in aircraft maintenance. *Scientific Reports*, 13, 16605.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-41169-3>
- Silva, P., & González, L. (2020). Norma ANSI Z15.1 y su impacto en la seguridad en los desplazamientos nocturnos en el mantenimiento aeronáutico. *Revista de Seguridad Ocupacional*, 10(2), 67-74.
- Smith, J., Lee, R., & Thompson, A. (2020). Shift work and health: Current problems and preventive actions. *Journal of Occupational Health*, 62(3), 201-210.  
<https://doi.org/10.1539/joh.2020-0010>
- Vargas, J. (2021). Normativa y mejores prácticas para el diseño de turnos en empresas de operación continua. *Revista de Gestión Empresarial*. Recuperado de  
<https://revistas.universidad.edu.co>
- Williams, K. (2019). Sleep disruption in shift work and its implications for productivity. *Journal of Sleep Research*, 28(1), e12709. <https://doi.org/10.1111/jsr.12709>
- Wright, P., Brown, T., & Díaz, L. (2019). Equitable shift rotation and job specialization. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 61(5), 45-56.  
<https://doi.org/10.1097/JOM.2019.0056>
- Yuquilema Alvarado, C. M. (2020). *Correlación entre la frecuencia de cocinar y el consumo de agua potable* [Universidad Nacional de Chimborazo].  
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6417>