

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO DE UN MODELO DE MEJORA CONTINUA INTEGRADO AL SGI (ISO 9001 / ISO 22163) PARA LA GESTIÓN DE LA OPERACIÓN EN EL PUESTO DE CONTROL CENTRAL (PCC), DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE QUITO

Máster Universitario en Sistemas Integrados de Gestión

Alumno: Elsa Gabriela Túquerres Guerrero

TUTOR: Lucía Cachafeiro

Quito, 2026

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN/ ABSTRACT	6
1 INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Planteamiento de la problemática operativa	8
1.2 Justificación de la Propuesta de Modelo de Mejora Continua Integrado (MMCI-PCC)	10
1.3 Alcance	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo general	12
2.2 Objetivos específicos	12
3 MARCO TEÓRICO	12
3.1 Principios de la Calidad.....	12
3.2 Ciclo PHVA	13
3.3 Sistemas Integrados de Gestión (SGI).....	15
3.3.1 Norma Internacional ISO 9001:2015	15
3.3.2 Norma ISO 22163:2023 (Sistema de Gestión de Calidad Ferroviaria).....	18
3.3.3 Norma UNE-EN 13816 (Transporte Público).....	20
3.3.4 Norma ISO 45001:2018 (Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo).....	20
3.4 Modelos de Calidad	21
3.5 El Modelo de Causalidad de Accidentes y Defensa en Profundidad (Queso Suizo)	22
3.6 Ingeniería de Confiabilidad RAMS y CRM	24
3.6.1 RAMS	24
3.6.2 CRM	25
3.6.3 Sistemas de Gestión de Riesgo por Fatiga (FRMS) y Medición del Estado Cognitivo	25
3.6.4 Tiempo de Ciclo/Recuperación de Trenes (TCTRE) como Métrica de Resiliencia.....	26
3.7 Metodología FRACAS	27
3.8 Marco Contextual: El Caso de Estudio.....	28
3.8.1 La empresa	28
3.8.2 Descripción del Puesto de Control Central.....	31
4 METODOLOGÍA.....	33
4.1 Tipo y diseño de investigación	33

4.2	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	34
4.2.1	Análisis Documental	34
4.2.2	Medición Estadística de datos operativos	34
4.2.3	Observación Participante (Enfoque Cualitativo y Sociotécnico)..	35
4.3	Procedimiento y fases de la investigación	36
4.4	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	36
5	RESULTADOS	37
5.1	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	37
5.1.1	Hallazgos de la Auditoría Interna del SGI	37
5.1.2	Análisis cuantitativo de la operación diaria.....	40
5.1.3	Análisis de la Matriz de Riesgos Operacionales.....	43
5.1.4	Resultados de la observación participante en la Sala de Control	45
5.1.5	Análisis de los Indicadores de Desempeño (KPI) Actuales del PCC	46
5.2	Diseño del Modelo de Mejora Continua del PCC (MMCI-PCC)	47
5.2.1	Nivel 1 (organizativo): Cultura de seguridad y Justicia.....	50
5.2.2	Nivel 2 (Técnico): Estandarización Operacional.....	51
5.2.3	Nivel 3 (Cognitivo): Factor Humano y Táctico	55
5.2.4	Nivel 4 (Aprendizaje Operacional): Contención y Mejora Continua	56
5.3	Cuadro de Mando Operativo (Dashboard MMCI-PCC).....	58
5.4	Plan de implementación del modelo	60
5.4.1	Recursos	62
5.4.2	Plan de Formación Especializada	63
6	DISCUSIÓN.....	63
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
7.1	Conclusiones.....	65
7.2	Recomendaciones	66
7.3	Futuras líneas de investigación.....	68
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
9	ANEXOS.....	73
9.1	Anexo 1: Hoja de Procesos PCC	73
9.2	Anexo 2. Ejemplo Ficha técnica ICA	74
9.3	Anexo 3: QRH	75
9.4	Anexo 4: TAPO por evento	76

9.5	Anexo 5. Memoria de Cálculo Estadístico para la Línea Base de Tiempos de Respuesta	77
9.6	Anexo 6: FRACAS	81

Índice de Tablas

Tabla 1 Estructura de requisitos de la norma ISO 9001:2015 alineada al ciclo PHVA....	17
Tabla 2 Estructura de requisitos de la norma ISO 22163:2023 alineada al ciclo PHVA....	19
Tabla 3 Procesos estratégicos de la EOMMT	28
Tabla 4 Procesos clave de la EOMMT	28
Tabla 5 Procesos de apoyo de la EOMMT	29
Tabla 6 Descripción de la última auditoría realizada a la EOMMT S.A.S.	38
Tabla 7 Resultados de la auditoría para el subproceso: PCC-operación de la sala de control	39
Tabla 8 Retrasos por Incidencia entre el 1 de diciembre del 2023 y el 28 de febrero del 2026.	41
Tabla 9 Tiempos promedio de resolución en minutos y número de eventos por supervisor	42
Tabla 10 Promedio de atención a las principales incidencias. Fuente: Datos del IDO PLMQ.....	43
Tabla 11 Matriz de Riesgos del Subproceso Operación en la Sala de Control -PCC	44
Tabla 12 Niveles de defensa propuestos para los riesgos de acuerdo con la matriz de riesgos de PCC	49
Tabla 13 Tiempo de meta propuesto	57
Tabla 14 Cuadro de Mando Operativo propuesto para el Puesto de Control Central	59
Tabla 15 Estructura y fases de Implementación del MMCI-PCC	61

Índice de figuras

Figura 1 Principios de la calidad	13
Figura 2 Ciclo PHVA.....	14
Figura 3 Representación del enfoque basado en procesos	16
Figura 4 Niveles de protección de los procesos según el modelo del queso suizo.....	24
Figura 5 Mapa de procesos de la EOMMT S.A.S.....	30
Figura 6 Mapa de procesos resumida PCC. Fuente: Elaboración propia	32
Figura 7 Mapa de jerarquía PCC EOMMT	32
Figura 8. Cronograma de implementación del MMCI-PCC.....	62

RESUMEN/ ABSTRACT

El Puesto de Control Central (PCC) de la Primera Línea del Metro de Quito opera bajo un Sistema de Gestión Integrado (SGI) basado en la norma ISO 9001. Si bien la organización mantiene un alto nivel de cumplimiento normativo, el diagnóstico situacional evidenció que el enfoque de procesos actual es predominantemente documental y reactivo, careciendo de controles operacionales preventivos para gestionar la variabilidad introducida por el factor humano bajo presión. Para cerrar esta brecha, el presente Trabajo de Fin de Máster diseña un Modelo de Mejora Continua Integrado (MMCI-PCC) orientado a elevar el nivel de madurez del sistema de gestión de la calidad. La propuesta se fundamenta en el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) y se estructura bajo la teoría de Defensa en Profundidad, articulando los requisitos de la ISO 9001 con las directrices de calidad sectorial de la norma internacional ISO 22163. A través de este diseño, se establecen metodologías de aprendizaje organizacional (FRACAS), estandarización de procedimientos y un Cuadro de Mando Operativo con Indicadores Clave de Desempeño (KPI's) proactivos para el seguimiento y medición. Se concluye que el modelo transforma el SGI hacia un enfoque de gestión preventiva, asegurando la estandarización documental, la toma de decisiones basada en evidencia y la excelencia operativa.

Palabras clave: Sistemas Integrados de Gestión, Control Operacional, Gestión por Procesos, Mejora Continua, ISO 9001, ISO 22163, Toma de Decisiones

ABSTRACT

The Operational Control Centre (OCC) of the First Line of the Quito Metro operates under The Central Control Centre (CCC) of the First Line of the Quito Metro operates under an Integrated Management System (IMS) based on the ISO 9001 standard. Although the organization maintains an elevated level of regulatory compliance, the situational diagnosis revealed that the current process approach is predominantly documentary and reactive, lacking preventive operational controls to manage the variability introduced by human factors under pressure. To close this gap, this Master's Thesis designs an Integrated Continuous Improvement Model (MMCI-PCC) aimed at increasing the maturity level of the quality management system. The proposal is based on the PDCA (Plan-Do-Check-Act) cycle and structured under the Defense in Depth theory, articulating ISO 9001 requirements with the sectoral quality guidelines of the international ISO 22163 standard. Through this design, organizational learning methodologies (FRACAS), procedural standardization, and an Operational Dashboard with proactive Key Performance Indicators (KPIs) for monitoring and measurement are established. It is concluded that the model transforms the IMS towards a preventive management approach, ensuring documentary standardization, evidence-based decision making, and operational excellence.

Keywords: *Integrated Management Systems, Operational Control, Process Management, Continuous Improvement, ISO 9001, ISO 22163, Decision Making.*

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la consolidación de los Sistemas Integrados de Gestión (SIG) representa un imperativo estratégico para las organizaciones que persiguen la excelencia operativa y la mejora continua. En sectores de alta criticidad, como el transporte masivo de pasajeros, la gestión de la calidad trasciende la simple satisfacción del cliente para convertirse en el eje vertebrador de la seguridad y la continuidad del servicio (Pinto & Fernández, 2021). Para garantizar una movilidad eficiente, las redes ferroviarias exigen estructuras organizacionales robustas donde la estandarización de procesos, la trazabilidad de la información y el "pensamiento basado en riesgos" rijan cada decisión corporativa.

Dentro de esta arquitectura orientada a la calidad total, el Puesto de Control Central (PCC) funciona como el núcleo neurológico del sistema. Desde estas instalaciones no solo se ejecuta la regulación telemática del tráfico y la energía, sino que se materializa el cumplimiento de los compromisos de servicio ofertados a la ciudadanía (Stanton et al., 2021). El controlador de tráfico actúa como el administrador directo de las incidencias en tiempo real, lo que convierte a esta sala de mando en el escenario más exigente para la aplicación efectiva del ciclo de mejora continua o ciclo de Deming (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar).

A pesar de los esfuerzos corporativos por certificar estos ecosistemas bajo directrices universales como la norma ISO 9001, la literatura especializada advierte sobre el peligro de la "burocratización" de la calidad. Cuando un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) se limita al cumplimiento estrictamente documental, omite la inmensa complejidad del factor humano, el cual prevalece como la variable de mayor impacto en las desviaciones del servicio. En entornos caracterizados por la multitarea y una abrumadora carga cognitiva como el PCC, las normativas genéricas requieren ser complementadas con herramientas que transformen los registros pasivos en barreras de defensa proactivas (Nilsson, 2024).

Para cerrar esta brecha operativa, la evolución de los sistemas de gestión ha derivado en marcos de integración sectorial avanzada, destacando la adopción internacional de la norma ISO 22163 (Sistema de Gestión de Calidad Ferroviaria). Este estándar eleva los principios fundamentales de la ISO 9001 al fusionarlos con disciplinas de ingeniería de confiabilidad (RAMS) y metodologías estructuradas para la resolución analítica de problemas, como el sistema FRACAS (ISO, 2023). Al incorporar la gestión del error humano mediante el sistema de calidad evoluciona de un esquema reactivo que audita la falla post incidente, a un modelo predictivo (Stanton et al., 2021).

Bajo esta perspectiva, el presente Trabajo de Fin de Máster propone la estructuración de un Modelo de Mejora Continua Integrado (MMCI-PCC). A través de este diseño, se busca garantizar que la toma de decisiones en el centro de mando sea estandarizada, auditable y esté plenamente alineada con los estándares globales de la calidad ferroviaria.

1.1 Planteamiento de la problemática operativa

La Empresa Operadora Metro de Medellín Transdev EOMMT S.A.S es una compañía que brinda sus servicios para la Operación de la Primera Línea del Metro de Quito desde el 1 de diciembre del 2023.

Como parte de su estructura de Calidad, la EOMMT ha implementado un Sistema de Gestión Integral Basado en la Norma ISO 9001:2015. Gracias a la experiencia operativa de sus empresas asociadas, se ha mantenido un alto nivel de cumplimiento contractual, evitando incidentes con afectación grave a nivel humano. El PCC constituye el núcleo de coordinación operacional del sistema ferroviario. En este entorno se concentran las funciones de autorización de trabajos en vía, gestión de la circulación, coordinación con personal en campo y registro operativo. Estas actividades se desarrollan en tiempo real, bajo presión temporal y con impacto directo sobre la seguridad de las personas y la continuidad del servicio. Es así que, más allá del cumplimiento normativo, la operación diaria del PCC revela una serie de desafíos operativos y de gestión de alta complejidad que requieren un enfoque de mejora continua específico. Por ello, surge la necesidad imperativa de integrar un modelo robusto aplicado directamente al Puesto de Control Central (PCC), núcleo de la toma de decisiones estratégicas y operativas, con el fin de optimizar la calidad del servicio y la gestión de riesgos operacionales. En este contexto, se identifican los siguientes desafíos operativos y humanos.

- **Gestión de la Complejidad y Alta Carga Cognitiva:** Los profesionales asignados al centro de mando, particularmente los Controladores de Tráfico y Supervisores, se desenvuelven en un ecosistema laboral caracterizado por la exigencia de procesar concurrentemente múltiples flujos de información. Sus responsabilidades cotidianas demandan orquestar la circulación comercial, autorizar intervenciones técnicas en la infraestructura, interactuar ininterrumpidamente con otros actores y estaciones (maquinistas, cuadrillas y personal de estación) y liderar las maniobras de recuperación frente a eventos anómalos. Esta convergencia de exigencias simultáneas detona picos de saturación mental, un fenómeno documentado en la ergonomía de sistemas como el principal catalizador de desviaciones en escenarios de alta criticidad (Salvendy, 2012).

Desde el enfoque de los sistemas de gestión de la calidad, depender de la memoria a corto plazo y la pericia individual bajo esta abrumadora presión constituye una vulnerabilidad estructural. Esta carencia justifica la necesidad imperativa de incorporar herramientas de estandarización visual que alivien el procesamiento de datos durante la toma de decisiones (Hollnagel, 2014).

- **Disciplina en la Comunicación de Seguridad Crítica:** Si bien el ecosistema del PCC posee reglamentación formal y una fraseología táctica preestablecida, el obstáculo neurálgico no es la ausencia de protocolos, sino la paulatina relajación en su rigor aplicativo a través del tiempo. La cotidianidad operativa induce a un fenómeno de complacencia, donde el personal tiende a flexibilizar la estructura normativa de los mensajes; una desviación que compromete severamente la transmisión efectiva de directrices durante escenarios de crisis o alta saturación mental. Desde la perspectiva del aseguramiento de la calidad, la vulnerabilidad más profunda reside en la actual carencia de un esquema de auditoría cuantitativa diseñado para evaluar la pertinencia y exactitud de las modulaciones en la red de radio TETRA. Al carecer de indicadores que certifiquen sistemáticamente la adherencia a la comunicación en bucle cerrado (read-back), el sistema de gestión queda imposibilitado para medir, detectar y corregir proactivamente la degradación de esta defensa fundamental (RSSB, 2018).
- **Integridad y Trazabilidad de la Información:** Aunque la empresa conserva de forma adecuada los registros históricos de la operación como bitácoras y reportes de incidencias, el punto crítico del proceso no está en la documentación, sino en la rapidez con la que se comparte el conocimiento práctico del día a día. En el desarrollo cotidiano del proceso surgen constantemente cambios temporales: fallas en equipos, restricciones de vía o nuevas directrices que deben aplicarse de inmediato. El problema actual es que no existe una herramienta o método centralizado que permita al personal ver, en tiempo real, todas las condiciones vigentes.

Esta falta de integración en la comunicación provoca que los profesionales, especialmente cuando inician un nuevo turno, no cuenten con una forma clara y confiable de comprender las disposiciones temporales en curso. Desde la perspectiva normativa, esta brecha de información afecta seriamente la gestión del conocimiento que exige el sistema de calidad, ya que abre la posibilidad de que las decisiones operativas se tomen con base en lineamientos que ya no están vigentes (UIC, 2020).

- **Toma de Decisiones bajo Presión e Incertidumbre:** La respuesta a incidencias exige la toma de decisiones críticas en un tiempo mínimo y, a menudo, con información incompleta. El desafío es asegurar que estas decisiones se basen en modelos mentales compartidos y en criterios técnicos y de seguridad predefinidos en los procedimientos, minimizando la variabilidad dependiente del individuo y la improvisación bajo estrés (Flin, O'Connor, & Crichton, 2008).

Estos desafíos evidencian que un SGI enfocado en el cumplimiento, es insuficiente para gestionar la complejidad de un entorno sociotécnico de alto riesgo. Por tanto, surge la necesidad de diseñar un modelo de mejora continua específico para el PCC, que integre herramientas de gestión de factores humanos y seguridad operacional. Dicho modelo busca fortalecer la capacidad del PCC para anticipar, monitorizar, responder y aprender de la operación diaria, alineando su desempeño con los objetivos estratégicos de la organización y con los estándares internacionales de seguridad ferroviaria.

1.2 Justificación de la Propuesta de Modelo de Mejora Continua Integrado (MMCI-PCC)

La concepción y diseño del Modelo de Mejora Continua Integrado (MMCI-PCC) se fundamenta en la necesidad de evolucionar la gestión operativa del transporte masivo, transitando desde un esquema de cumplimiento puramente normativo hacia uno de resiliencia táctica. Si bien el Puesto de Control Central mantiene los márgenes de operación exigidos contractualmente, el Sistema de Gestión Integrado (SGI) vigente tiende a funcionar como una plataforma de registro pasivo de incidencias.

En ecosistemas de alta criticidad, depender exclusivamente de la habilidad individual y de la memorización de directrices bajo presión extrema constituye una vulnerabilidad inaceptable frente a los estándares modernos de calidad ferroviaria.

La justificación de este trabajo radica en su capacidad de integrar en una sola estructura herramientas de confiabilidad humana junto con mecanismos avanzados de estandarización documental. Al instaurar barreras sistémicas que estandarizan la toma de decisiones, la empresa optimiza el tiempo de atención de incidencias, salvaguardando así el criterio de regularidad del servicio comercial, pilar fundamental de la norma UNE-EN 13816 aplicable al transporte público.

Asimismo, la propuesta se justifica desde una perspectiva estratégica de certificación corporativa. Mientras que el esquema actual se ampara en los requisitos genéricos de la norma ISO 9001, el entorno ferroviario demanda controles operacionales mucho más

rigurosos. El diseño de este modelo integra proactivamente las exigencias suplementarias de la norma internacional ISO 22163 (Sistema de Gestión de Calidad Ferroviaria), dotando a la entidad operadora de metodologías estructuradas para el aprendizaje organizacional (como el sistema FRACAS) y de indicadores de desempeño (KPI's) de carácter preventivo. En definitiva, la adopción del MMCI-PCC no solo sella las brechas actuales del SGI frente al riesgo asociado al factor humano, sino que establece un ciclo cerrado de Mejora Continua (metodología PHVA) que sienta las bases técnicas y organizacionales definitivas para alcanzar la excelencia global en la operación del Metro de Quito.

1.3 Alcance

El presente trabajo se enfoca en la conceptualización y estructuración del modelo de gestión (MMCI-PCC) para el subproceso de Operación en la Sala de Control (PCC) de la PLMQ. Su alcance abarca la definición de los niveles del modelo y la propuesta de integración de herramientas operativas (tales como la filosofía de Tarjetas de Acción Rápida o los sistemas de aprendizaje tipo FRACAS). Asimismo, incluye el establecimiento de los Indicadores Clave de Desempeño (KPI's) necesarios para el monitoreo preventivo. Estas directrices estratégicas se alinean con los preceptos de la norma ISO 9001 que rige actualmente en la organización, enlazándolos con los lineamientos de calidad ferroviaria dictados por la ISO 22163.

Este proyecto se delimita a la fase de diagnóstico, diseño y planificación de la implementación. En consecuencia, quedan excluidos del alcance de esta investigación:

- La ejecución física, financiera o contractual de las fases de implementación propuestas.
- La modificación del hardware o de los sistemas telemáticos (SCADA) instalados en el PCC.
- La evaluación del desempeño de los procesos ajenos a la Sala de Control, tales como el mantenimiento de material rodante, el recaudo o la gestión de seguridad en estaciones físicas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Diseñar un Modelo de Mejora Continua basado en Confiabilidad Operativa para el Puesto de Control Central (PCC) de la Primera Línea del Metro de Quito. Este modelo se estructurará bajo el enfoque de Niveles de Defensa en Profundidad, articulando los requisitos del Sistema de Gestión de Calidad vigente (ISO 9001) con las exigencias complementarias de seguridad y factor humano de la normativa ferroviaria internacional (ISO 22163), con el propósito de mitigar el impacto de las vulnerabilidades cognitivas y procedimentales a nivel operativo.

2.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar el estado actual de la gestión de procesos críticos en el Puesto de Control Central (PCC) durante el periodo comprendido entre diciembre de 2023 y febrero de 2026, mediante el análisis de los Informes Diarios de Operación y resultados de auditorías internas.
2. Diseñar el MMCI-PCC estructurado bajo el enfoque de Defensa en Profundidad (niveles organizativo, técnico, cognitivo y de aprendizaje), definiendo para cada nivel sus metodologías y herramientas operativas.
3. Estructurar un Cuadro de Mando Operativo (Dashboard) que compile los Indicadores Clave de Desempeño (KPI's) proactivos y reactivos del modelo, definiendo las métricas matemáticas y metas para el monitoreo continuo.
4. Elaborar el plan de implementación del MMCI-PCC, incluyendo cronograma, recursos requeridos y plan de formación, diseñado para ejecutarse con los recursos organizacionales existentes del PCC mediante un despliegue por fases operativas.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Principios de la Calidad

La estructuración de cualquier modelo de mejora, como el propuesto para el Puesto de Control Central (PCC), requiere cimentarse en fundamentos universalmente aceptados. Según la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés), existen siete principios rectores que actúan como pilar filosófico para conducir a una organización hacia el desempeño sostenido. Estos lineamientos, formalmente establecidos

en la norma ISO 9000:2015, no son rígidos, sino que exigen adaptabilidad dependiendo del grado de madurez y el entorno crítico de la entidad operadora (ISO, 2015).

Para el contexto del presente trabajo, estos principios se conceptualizan de la siguiente manera:

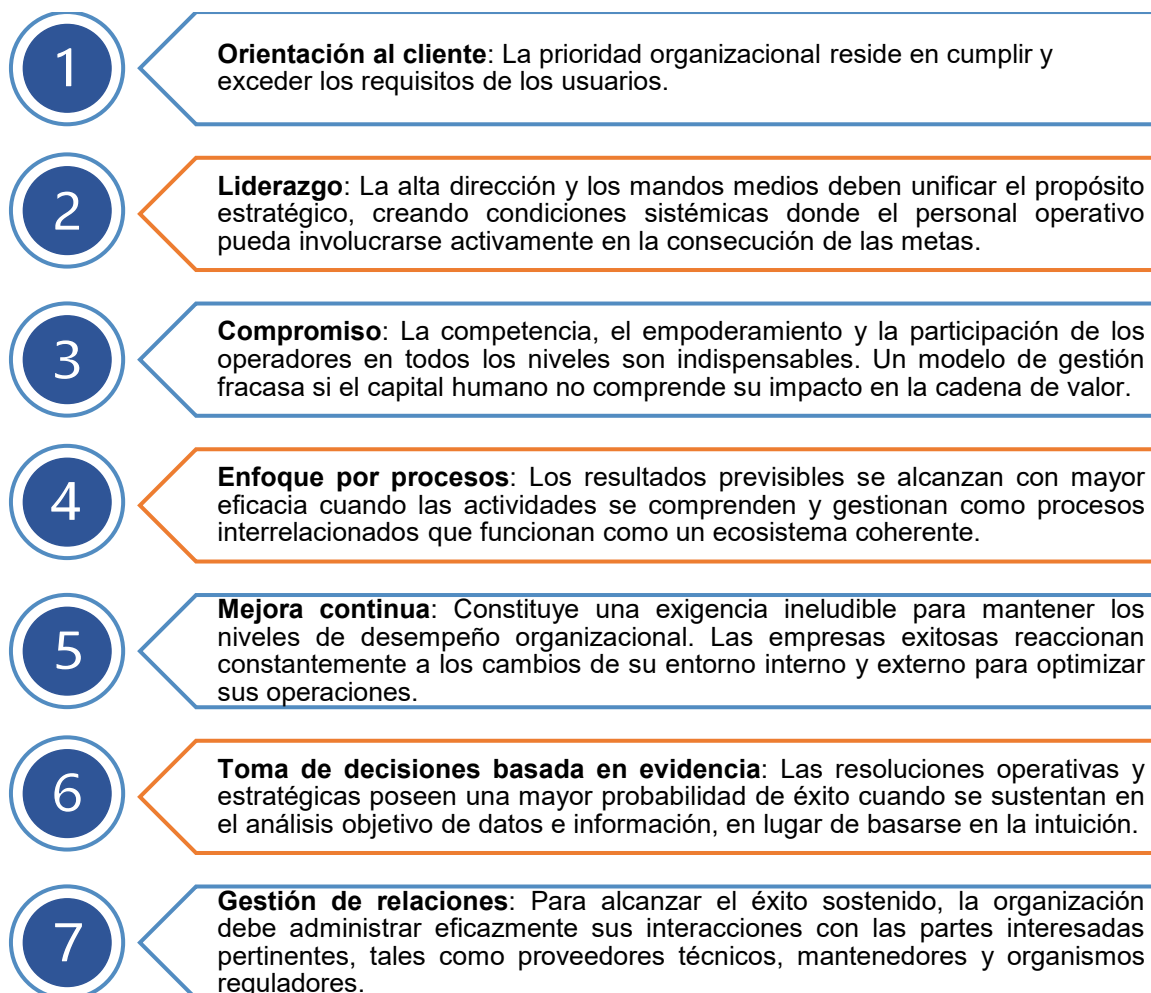


Figura 1 Principios de la calidad
Fuente: Elaboración propia con base en la ISO 9001:2015

3.2 Ciclo PHVA

De acuerdo con las directrices internacionales de la ISO, la clave para el buen funcionamiento de un sistema de gestión reside en la aplicación del método Planificar, Hacer, Verificar y Actuar (PHVA). Este esquema enfocado en la mejora constante tuvo sus primeras bases teóricas en los trabajos de Walter A. Shewhart durante la década de 1920 y alcanzó su desarrollo final gracias a las aportaciones de Edward Deming (Almeida & Guzmán, 2017). Esta forma de trabajar se vincula directamente con la visión por procesos, ya que busca entender la manera en que se enlazan las múltiples tareas dentro de una

empresa. Toda entidad funciona a través de relaciones operativas, algunas básicas y otras muy elaboradas, formando un ciclo constante de actividades materiales y abstractas donde participan distintos grupos de interés, tanto de adentro como de afuera de la compañía.

Implementar la metodología PHVA brinda a las empresas la seguridad de que cada una de sus áreas de trabajo dispondrá de los materiales e insumos indispensables para operar correctamente. Al mismo tiempo, este ciclo facilita la detección temprana de posibles mejoras en el servicio o producto final, siendo una herramienta adaptable y válida para el cumplimiento de cualquier norma enfocada en la calidad (ISO, 2015).

El ciclo se desarrolla de la siguiente manera:

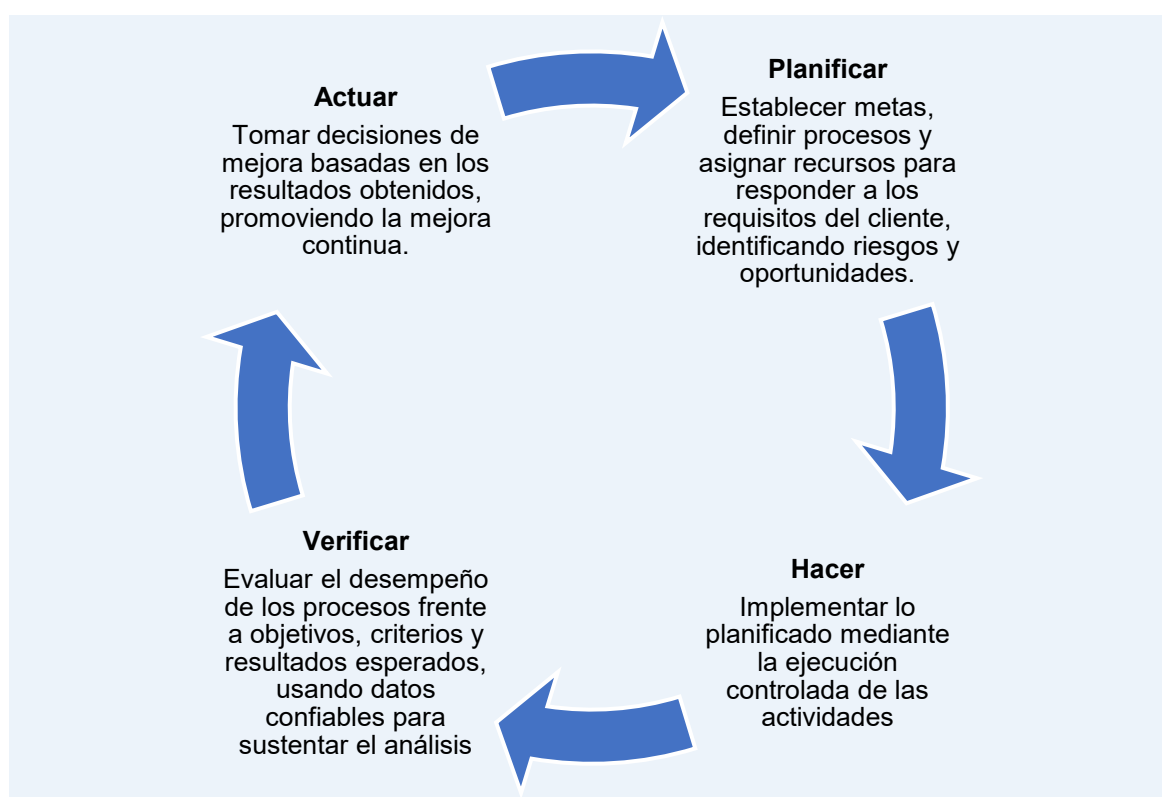


Figura 2 Ciclo PHVA

Fuente: Elaboración propia con base en Deming (1986) e ISO 9001:2015.

En la actualidad, el ciclo PHVA se ha consolidado como una herramienta esencial para la gestión de calidad, permitiendo a las organizaciones adaptarse a un entorno competitivo y en constante cambio, facilitando la mejora continua y la optimización de procesos.

3.3 Sistemas Integrados de Gestión (SGI)

En el entorno competitivo actual, las organizaciones tienden a organizar su gestión interna en función directa de los productos o servicios que ofrecen. Con el objetivo de mejorar la eficiencia de sus procesos, muchas empresas adoptan estándares reconocidos a nivel nacional e internacional. En este contexto, las normas impulsadas por la Organización Internacional de Normalización (ISO) tienen un papel clave, especialmente aquellas relacionadas con la calidad, el cuidado ambiental y la seguridad y salud en el trabajo (Fonseca & Domingues, 2021).

Su amplia adopción en todo el mundo se explica porque brindan métodos claros y estructurados que estandarizan las actividades diarias, reducen la variabilidad indeseada y fomentan la optimización continua de los procesos corporativos (Tarí et al., 2020).

En términos conceptuales, un sistema de gestión puede entenderse como la estrategia estructurada mediante la cual una corporación articula los distintos componentes sinérgicos de su actividad para materializar sus metas fundamentales. Estos fines suelen abarcar desde la fiabilidad del bien o servicio entregado, hasta la optimización del desempeño operativo y el cuidado de la integridad física de los trabajadores (Almeida Guzmán, 2017).

Dentro de la revisión académica, existen múltiples conceptualizaciones en cuanto a los SGI, la que genera mayor consenso entre los investigadores los concibe como un engranaje de procedimientos entrelazados que operan bajo una base de recursos compartidos con la misión fundamental de dar respuesta a las exigencias de los múltiples actores o partes interesadas (Karapetrovic, 2003).

En la práctica, implementar herramientas basadas en la familia de normas ISO va mucho más allá de cumplir con un simple trámite documental; es una estrategia comprobada que ayuda a las organizaciones a ser más eficientes y productivas al mismo tiempo (Tarí et al., 2012). Cuando una empresa estandariza sus procesos bajo estos lineamientos, crea una base operativa sólida que le permite reaccionar con agilidad y orden ante imprevistos o escenarios de alta volatilidad. Al final del día, este nivel de organización y adaptabilidad es lo que garantiza que la empresa pueda satisfacer de manera constante las necesidades de sus clientes y de todas las partes interesadas que dependen de su servicio (ISO, 2015).

3.3.1 Norma Internacional ISO 9001:2015

De acuerdo con los lineamientos de la norma internacional ISO 9001:2015, un proceso se conceptualiza como un bloque de operaciones vinculadas entre sí, cuya finalidad es convertir determinados insumos en salidas tangibles o intangibles debidamente

planificadas. En la actualidad, la competitividad de las empresas radica en su capacidad para interpretar y anticiparse a los requerimientos de sus usuarios, quienes exigen niveles de servicio progresivamente superiores. Bajo este modelo, la gestión cimentada en procesos exige que la estructura organizacional sea analizada, mapeada y dirigida como un ecosistema integrado, donde cada eslabón operativo se encarga de procesar información o recursos para generar valor agregado tanto para el consumidor final como para el resto de los actores involucrados (Camisón et al., 2011).

Este enfoque facilita la homogenización de las tareas diarias y promueve una sinergia entre los distintos departamentos. Al mapear las secuencias, se logra identificar y suprimir aquellos pasos redundantes que no suman valor, lo cual maximiza la eficiencia en la utilización de los recursos, estabiliza la calidad de los productos o servicios entregados y, en última instancia, eleva los índices de satisfacción del usuario. Aplicando estos principios al entorno específico de un Puesto de Control Central (PCC), se concluye que la seguridad operacional y la excelencia del servicio no son fenómenos fortuitos; por el contrario, son el producto directo de una planificación meticulosa, un monitoreo riguroso y una evolución constante de su arquitectura procedimental (Carro Paz & González Gómez, 2010; ISO, 2015).

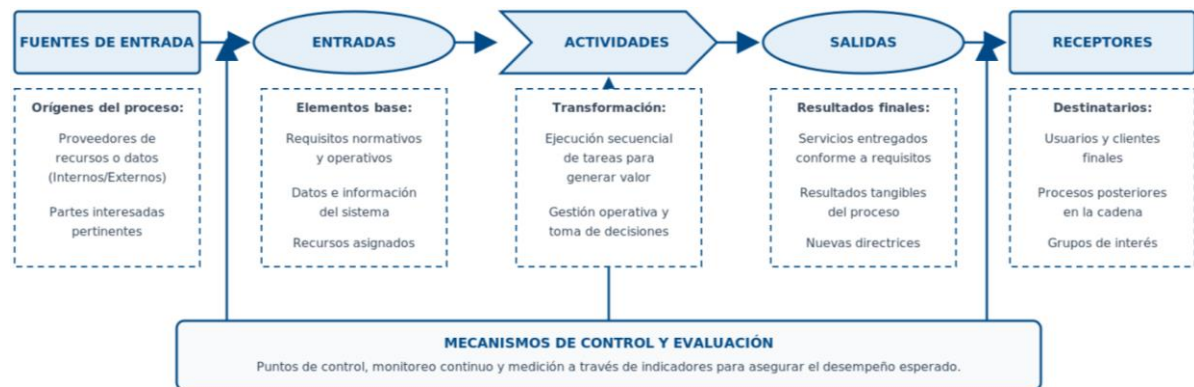


Figura 3 Representación del enfoque basado en procesos

Fuente: Elaboración propia con base en ISO 9001:2015.

La operativización del enfoque basado en procesos requiere un marco de referencia estructurado que permita su implementación y evaluación objetiva. En este sentido, la norma ISO 9001:2015 se organiza bajo la Estructura de Alto Nivel (HLS), un formato estandarizado que agrupa las directrices del sistema de gestión en diez cláusulas principales. Como detalla la Organización Internacional de Normalización (2015), los capítulos del 4 al 10 contienen los requisitos auditables y se alinean milimétricamente con

el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), garantizando que el diseño del proceso se conecte directamente con la mejora continua. A continuación, la Tabla 1 sintetiza la estructura normativa aplicable, la cual constituye la arquitectura base sobre la que se asientan las herramientas de control operacional del presente modelo.

Tabla 1 Estructura de requisitos de la norma ISO 9001:2015 alineada al ciclo PHVA

PHVA	Cláusula	Requisitos normativos (ISO 9001:2015)	Apartado
PLANIFICAR	4. Contexto de la organización	Comprensión de la organización y de su contexto	4.1
		Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	4.2
		Determinación del alcance del sistema de gestión de la calidad	4.3
		Sistema de gestión de la calidad y sus procesos	4.4
	5. Liderazgo	Liderazgo y compromiso (incluye Enfoque al cliente)	5.1
		Política de la calidad	5.2
		Roles, responsabilidades y autoridades en la organización	5.3
	6. Planificación	Acciones para abordar riesgos y oportunidades	6.1
		Objetivos de la calidad y planificación para lograrlos	6.2
		Planificación de los cambios	6.3
HACER	7. Apoyo	Recursos (Personas, Infraestructura, Ambiente, Conocimientos)	7.1
		Competencia	7.2
		Toma de conciencia	7.3
		Comunicación	7.4
		Información documentada	7.5
	8. Operación	Planificación y control operacional	8.1
		Requisitos para los productos y servicios	8.2
		Diseño y desarrollo de los productos y servicios	8.3
		Control de los procesos, productos y servicios suministrados externamente	8.4
		Producción y provisión del servicio (Trazabilidad, Preservación)	8.5
		Liberación de los productos y servicios	8.6
		Control de las salidas no conformes	8.7
VERIFICAR	9. Evaluación del desempeño	Seguimiento, medición, análisis y evaluación (incluye Satisfacción del cliente)	9.1
		Auditoría interna	9.2
		Revisión por la dirección	9.3
ACTUAR	10. Mejora	Generalidades	10.1
		No conformidad y acción correctiva	10.2
		Mejora continua	10.3

Fuente: Elaboración propia con base en ISO 9001:2015.

3.3.1.1 Ventajas y desafíos en la implementación de la Norma ISO 9001:2015

La adopción de un modelo de gestión basado en la norma ISO 9001:2015 aporta beneficios estructurales significativos a las organizaciones. Como ventaja principal, el enfoque basado en procesos facilita la identificación temprana de áreas de mejora y fomenta una cultura organizacional orientada a la calidad. Asimismo, el marco normativo propicia la planificación estructurada de programas de formación adaptados a las necesidades reales del personal, lo que incrementa el compromiso y la competencia técnica del equipo. En última instancia, el sistema asegura que las mejoras introducidas a nivel departamental tributen directamente a la consecución de los objetivos estratégicos globales de la organización.

No obstante, la literatura académica y la práctica empresarial advierten sobre ciertas barreras o desafíos inherentes a este proceso de implementación. Uno de los riesgos más comunes es la burocratización del sistema, lo que puede derivar en una generación excesiva de documentos que ralentice la operación en lugar de agilizarla. De igual manera, las organizaciones suelen enfrentar dificultades en la correcta asignación y orientación de los recursos humanos, un factor crítico para garantizar que el plan de mejora se ejecute y se mantenga en el tiempo sin sobrecargar al personal operativo.

3.3.2 Norma ISO 22163:2023 (Sistema de Gestión de Calidad Ferroviaria)

La norma ISO 22163, evolución del anterior estándar IRIS (International Railway Industry Standard), es el marco de referencia global para la gestión de la calidad en el sector ferroviario. Su estructura adopta íntegramente la Estructura de Alto Nivel (HLS) y los requisitos de la ISO 9001:2015, incorporando exigencias suplementarias diseñadas específicamente para garantizar la seguridad, fiabilidad y eficiencia en operaciones y cadenas de suministro ferroviarias (ISO, 2023).

A diferencia de los sistemas de gestión genéricos, la ISO 22163 exige la integración de metodologías de ingeniería avanzada en la gestión diaria. Entre sus requisitos complementarios más relevantes para el control de operaciones destacan:

- **Gestión de la Confiabilidad (Cláusula 8.8):** Exige establecer procesos formales para gestionar la Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS), así como la implementación de sistemas para la recopilación y análisis de datos de fallos, como la metodología FRACAS (ISO, 2023).
- **Gestión de Competencias Ampliada (Cláusula 7.2.1):** Requiere identificar brechas de competencia e incluir explícitamente el entrenamiento en habilidades

no técnicas y sociales (como el trabajo en equipo y la comunicación bajo presión), principios fundamentales del Crew Resource Management (CRM) (ISO, 2023).

- **Evaluación del Desempeño (Anexo C):** Define Indicadores Clave de Desempeño (KPI) y métricas operativas obligatorias para el sector, orientando a la organización hacia la medición de la disponibilidad operativa y la reducción de incidencias (ISO, 2023).

La norma ISO 22163:2023 mantiene la Estructura de Alto Nivel de la ISO 9001:2015, pero incorpora requisitos suplementarios específicos del sector ferroviario orientados a la seguridad del producto, la confiabilidad, la gestión de proyectos y la prevención de defectos a lo largo de la cadena de suministro. Como detalla la norma, sus requisitos también se articulan a través del ciclo PHVA, añadiendo procesos y controles operativos vitales para la industria ferroviaria. La Tabla 2 resume esta estructura integrada.

Tabla 2 Estructura de requisitos de la norma ISO 22163:2023 alineada al ciclo PHVA

PHVA	Cláusula Principal	Requisitos normativos (ISO 9001:2015 + ISO 22163:2023)	Apartado
PLANIFICAR	4. Contexto de la organización	Comprensión de la organización y su contexto (Incluye Planificación del Negocio y Responsabilidad Social)	4.1
		Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	4.2
		Determinación del alcance del sistema de gestión de la calidad ferroviario (RQMS)	4.3
		Sistema de gestión de la calidad ferroviario y sus procesos	4.4
	5. Liderazgo	Liderazgo y compromiso (Incluye Enfoque al cliente ferroviario y Seguridad del producto)	5.1
		Política de la calidad y de seguridad del producto	5.2
		Roles, responsabilidades y autoridades (Incluye propietarios de procesos)	5.3
	6. Planificación	Acciones para abordar riesgos y oportunidades (Incluye Continuidad del Negocio)	6.1
		Objetivos de la calidad y planificación para lograrlos	6.2
		Planificación de los cambios	6.3
HACER	7. Apoyo	Recursos (Planificación, Personas, Infraestructura, Ambiente, Conocimientos y Seguimiento/Medición)	7.1
		Competencia (Gestión de la competencia ferroviaria)	7.2
		Toma de conciencia	7.3
		Comunicación	7.4
		Información documentada	7.5
	8. Operación	Planificación y control operacional (Incluye Innovación, Gestión de Ofertas, Proyectos y Configuración/Cambios)	8.1
		Requisitos para los productos y servicios	8.2
		Diseño y desarrollo de los productos y servicios	8.3
		Control de los procesos, productos y servicios suministrados externamente (EPPPS)	8.4
		Producción y provisión del servicio (Incluye Control de procesos especiales y Actividades posteriores a la entrega)	8.5

PHVA	Cláusula Principal	Requisitos normativos (ISO 9001:2015 + ISO 22163:2023)	Apartado
		Liberación de los productos y servicios	8.6
		Control de las salidas no conformes	8.7
		RAMS y Costo del Ciclo de Vida (LCC)	8.8
		Inspección del Primer Artículo (FAI)	8.9
		Gestión de la obsolescencia	8.10
VERIFICAR	9. Evaluación del desempeño	Seguimiento, medición, análisis y evaluación (Incluye indicadores PI y KPI, y Satisfacción del cliente)	9.1
		Auditoría interna (Gestión de auditorías y competencia de auditores)	9.2
		Revisión por la dirección (Incluye salidas de seguridad y revisiones de procesos)	9.3
ACTUAR	10. Mejora	Generalidades	10.1
		No conformidad y acción correctiva (Incluye resolución de problemas 8D/FRACAS)	10.2
		Mejora continua	10.3

Fuente: Elaboración propia con base en ISO 22163:2023.

3.3.3 Norma UNE-EN 13816 (Transporte Público)

La norma UNE-EN 13816 es el estándar europeo de referencia diseñado específicamente para gestionar la calidad en el transporte público de pasajeros.

Su modelo conceptual se basa en el "Bucle de la Calidad", una metodología que exige a la organización identificar, medir y minimizar las brechas entre cuatro estados del servicio: la calidad esperada (por el usuario), la calidad objetivo (diseñada por la empresa), la calidad producida (la ejecución real diaria) y la calidad percibida (lo que el usuario siente). Para esto, la norma desglosa la experiencia de viaje en ocho criterios evaluables: Tiempo, Confort, Información, Accesibilidad, Seguridad, Servicio ofertado, Atención al cliente e Impacto ambiental. Para el PCC, esta norma es fundamental, ya que conecta directamente sus decisiones operativas (gestión de intervalos, respuesta a incidencias, información a través del CSIV) con la satisfacción y seguridad del pasajero, convirtiendo la gestión técnica en una gestión de la calidad del servicio (Macário, 2015).

3.3.4 Norma ISO 45001:2018 (Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo)

La norma internacional ISO 45001:2018 constituye el estándar global supremo para la estructuración de Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST). Concebida como la evolución integral de la antigua OHSAS 18001, esta directriz adopta la Estructura de Alto Nivel (HLS), lo que facilita su amalgama sistémica con la ISO 9001. Según Pinto y Fernández (2021), el salto paradigmático de la ISO 45001 radica en su enfoque preventivo centrado en el "pensamiento basado en el riesgo" y en la protección proactiva del colaborador. A diferencia de los enfoques industrialistas tradicionales

enfocados casi exclusivamente en la prevención de lesiones físicas o accidentes mecánicos, este estándar exige a las organizaciones una visión holística que engloba el bienestar físico, mental y cognitivo del trabajador. Obliga, por tanto, a la Alta Dirección a identificar y neutralizar peligros derivados de la propia organización del trabajo, los ritmos operativos y la carga psicosocial (ISO, 2018).

En ecosistemas sociotécnicos de alta criticidad, como lo es un Puesto de Control Central (PCC), la aplicabilidad de la ISO 45001 trasciende la simple ergonomía del mobiliario (como el diseño de consolas o iluminación) para adentrarse en la gestión neurocognitiva. La cláusula 6.1.2.1 de la norma establece explícitamente la obligatoriedad de evaluar los peligros asociados a factores humanos, la carga de trabajo, la presión temporal y las exigencias de las tareas (López-García et al., 2022). En este sentido, un despachador de tráfico ferroviario sometido a turnos rotativos y multitarea intensiva enfrenta un desgaste mental severo que, de no gestionarse, actúa como precursor directo del error operativo.

3.4 Modelos de Calidad

En el ámbito de los Sistemas Integrados de Gestión (SIG), es imperativo distinguir entre una norma y un modelo. Mientras que las normativas (como la familia ISO) establecen los requisitos mínimos de cumplimiento, un "modelo de calidad" constituye el marco conceptual y operativo diseñado para articular la estrategia, los recursos y la ejecución práctica de dichos requisitos dentro de una organización. Según Camisón, Cruz y González (2011), un modelo robusto debe estructurarse sistémicamente mediante ejes estratégicos (liderazgo), ejes operativos (gestión de procesos), ejes de evaluación (KPI's) y ejes de mejora continua (Ciclo PHVA).

La literatura académica y normativa aborda la estructuración de estos sistemas desde dos perspectivas complementarias: **el nivel de madurez de su integración y la tipología conceptual del modelo adoptado.**

Por un lado, en cuanto a la madurez de integración, la guía UNE 66177 (AENOR, 2005) establece que las organizaciones pueden fusionar sus normativas bajo distintos métodos:

1. **Método Básico (Aditivo):** Consiste en la superposición administrativa de normativas independientes, generando sistemas paralelos sin verdadera sinergia operativa.
2. **Método Avanzado (Integración por Procesos):** Unifica los requisitos de múltiples normas (ej. Calidad, Medio Ambiente, Seguridad Ocupacional) bajo un único mapa de procesos regido por el ciclo de Deming.

Por otro lado, respecto a la tipología conceptual del modelo a adoptar, autores como Camisón et al. (2011) identifican estructuras que van más allá del cumplimiento normativo básico:

1. **Modelos de Excelencia (TQM):** Marcos holísticos que persiguen la Calidad Total abarcando a todas las partes interesadas, tales como el modelo EFQM (European Foundation for Quality Management).
2. **Modelos Híbridos o Específicos del Sector (Sector-Specific Models):** Modelos adoptados cuando las normas de calidad generalistas (como la ISO 9001) resultan insuficientes para abordar la complejidad de industrias de alto riesgo. Estos toman el esqueleto de la gestión por procesos y lo fusionan con estándares técnicos sectoriales (como AS9100 en aeronáutica, IATF 16949 en automoción, o ISO 22163 en el sector ferroviario), integrando además metodologías complementarias como herramientas de factores humanos o seguridad operacional (*Safety*).

El presente trabajo se enmarca conceptualmente dentro de la tipología de Modelo Híbrido Sectorial operando bajo un método de Integración por Procesos. El Modelo de Mejora Continua Integrado (MMCI-PCC) propuesto no pretende crear un sistema paralelo, sino fortalecer el enfoque de procesos de la norma ISO 9001 existente, inyectándole la rigurosidad técnica sectorial de la norma ferroviaria ISO 22163 y las metodologías de factores humanos (CRM). De esta manera, el modelo asegura que los ejes operativos y de evaluación de la EOMMT respondan verdaderamente a la complejidad sociotécnica del Puesto Central de Control.

3.5 El Modelo de Causalidad de Accidentes y Defensa en Profundidad (Queso Suizo)

La gestión de la seguridad en sistemas sociotécnicos de alto riesgo (como el control de tráfico ferroviario) requiere enfoques que trasciendan la simple búsqueda de culpables individuales frente a un incidente. Esta necesidad teórica fue resuelta originalmente por James Reason a través de su modelo de causalidad de accidentes, universalmente conocido como el Modelo del Queso Suizo o enfoque de Defensa en Profundidad (Reason, 1990). A diferencia de los modelos de calidad, que buscan la eficiencia del proceso, este modelo busca la resiliencia del sistema ante el fallo.

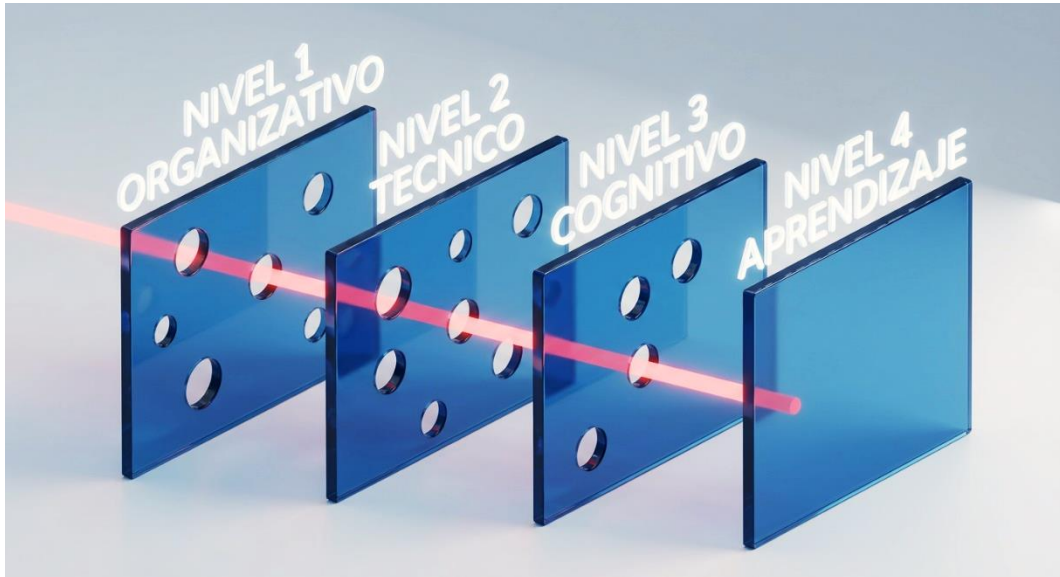
La premisa estructural de este paradigma establece que las catástrofes organizacionales no son el resultado de un único error aislado, sino el producto de la interacción y alineación temporal de múltiples vulnerabilidades a través de las distintas capas protectoras de un

sistema. En esta analogía, cada barrera de seguridad ya sea tecnológica, procedimental o humana, actúa como una rebanada de queso, mientras que los orificios representan las fallas latentes (deficiencias organizativas subyacentes) y los errores activos (acciones u omisiones directas en la línea operativa). Un accidente grave solo se materializa cuando las fallas de cada nivel logran crear una trayectoria continua y sin obstáculos a través de todas las defensas implementadas (Reason, 1990).

En la literatura contemporánea sobre confiabilidad humana, el modelo de Reason se ha adaptado para integrarse con los Sistemas de Gestión de Calidad, estructurando la protección de los procesos en cuatro estratos interdependientes (Hollnagel, 2014; Stanton et al., 2021):

- **Nivel Organizacional y Cultural (Defensa Latente):** Constituye la base sistémica de la seguridad. Este nivel agrupa las decisiones directivas, la asignación de recursos y el clima laboral. Investigaciones recientes destacan que la instauración de una "Cultura Justa" (Just Culture) en esta capa es indispensable. Un entorno que fomenta el reporte de anomalías sin temor a represalias punitivas fortalece el nivel preventivo general, mitigando las fallas latentes antes de que comprometan la operación (Li et al., 2024).
- **Nivel Técnico y Procedimental (Estandarización):** Representa las barreras físicas y documentales. En el marco de un Sistema de Gestión de Calidad, este estrato corresponde a la ergonomía de la información y al control operacional. La literatura especializada enfatiza que procedimientos excesivamente complejos, desactualizados o de difícil acceso durante emergencias aumentan el tamaño de los "agujeros" en esta capa defensiva, derivando en lo que se conoce como supervisión inefectiva (Robayo & Rodríguez, 2015; Ergoyes, 2023).
- **Nivel Cognitivo y de Factor Humano (Defensa Táctica):** Constituye el entorno fisiológico y psicológico del operador en tiempo real. Engloba factores determinantes como la gestión de la fatiga, el nivel de alerta, la conciencia situacional y la comunicación de equipo. Las vulnerabilidades en este estrato se consideran condiciones precursoras directas del error humano, las cuales deben ser gestionadas mediante entrenamiento específico, como el Crew Resource Management (CRM) (Li et al., 2024).
- **Nivel Operativo y de Aprendizaje (Contención):** Es la última barrera activa donde interactúa directamente la acción del individuo con el sistema técnico. Dado que el error humano es probabilísticamente inevitable, esta capa final se enfoca en la

resiliencia del sistema para absorber el fallo y evitar la propagación del daño. En este punto, la integración de herramientas de análisis de ingeniería, como la metodología RAMS, resulta vital para transformar el error materializado en datos de aprendizaje, permitiendo tapar las vulnerabilidades detectadas en los niveles anteriores (Biolini, 2017)



*Figura 4 Niveles de protección de los procesos según el modelo del queso suizo.
Fuente: Elaboración propia*

En entornos de alta complejidad sociotécnica como un Puesto Central de Control, los ejes clásicos de la gestión de la calidad (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) resultan insuficientes si no se dotan de una arquitectura de seguridad táctica. Por ello, el Modelo Híbrido Sectorial propuesto (MMCI-PCC) adopta el esqueleto del ciclo PHVA (ISO 9001), pero estructura su núcleo operativo (el "Hacer" y el "Actuar") mediante los niveles de Defensa en Profundidad de James Reason. Esta integración no solo proporciona una estructura teórica sólida, sino que permite alinear funcionalmente la gestión de procesos con las exigencias de confiabilidad humana (CRM) y seguridad RAMS de la norma ferroviaria ISO 22163, asegurando la resiliencia del sistema ante el fallo.

3.6 Ingeniería de Confiabilidad RAMS y CRM

3.6.1 RAMS

La Ingeniería de Confiabilidad RAMS regida por la norma EN 50126 es una metodología sistemática aplicada a la gestión de activos y procesos críticos, y fundamentada en cuatro características intrínsecas del sistema:

- Reliability: (Fiabilidad): probabilidad de operar sin fallas.

- Availability (Disponibilidad): capacidad de estar operativo cuando se requiere.
- Maintainability (Mantenibilidad): facilidad y velocidad de reparación de fallos, y
- Safety (Seguridad): Gestión de riesgos críticos.

A diferencia de la gestión de calidad tradicional, que verifica el cumplimiento de requisitos, el enfoque RAMS utiliza modelos matemáticos para predecir el comportamiento futuro del sistema, asegurando una fiabilidad técnica del hardware que soporte los niveles de servicio prometidos al usuario (Birolini, 2017; CENELEC, 2017)

Para el modelo, se busca adaptar la filosofía RAMS para aplicarla a la confiabilidad del proceso operativo del PCC, es decir que en este contexto tendremos lo siguiente:

- Reliability: (Fiabilidad): probabilidad de operar sin fallas.
- Availability (Disponibilidad): capacidad de estar operativo cuando se requiere.
- Maintainability (Mantenibilidad): facilidad y velocidad de reparación de fallos, y
- Safety (Seguridad): Gestión de riesgos críticos.

3.6.2 CRM

En sistemas complejos, la mayoría de los incidentes no se deben a fallos técnicos, sino al factor humano. El CRM con orígenes en la industria de la aviación es un sistema de entrenamiento enfocado en la gestión de las Habilidades No Técnicas (No Technical Skills NTS): conciencia situacional, toma de decisiones, comunicación, trabajo en equipo y liderazgo (Flin, O'Connor, & Crichton, 2008).

Para complementar el entrenamiento CRM y reducir la carga cognitiva durante emergencias, la industria de alta fiabilidad utiliza manuales de referencia rápida o QRH (Quick Reference Handbook). A diferencia de los manuales tradicionales, el QRH condensa las acciones críticas en listas de verificación (Action Cards) de diseño ergonómico, permitiendo al operador ejecutar procedimientos de emergencia basándose en el reconocimiento visual y no en la memoria a corto plazo (Salvendy, 2012).

3.6.3 Sistemas de Gestión de Riesgo por Fatiga (FRMS) y Medición del Estado Cognitivo

Dentro del espectro de las competencias no técnicas abordadas por el CRM, la vigilancia del estado de alerta de los operadores constituye un pilar innegociable en los centros de

control modernos. Tradicionalmente, la industria ferroviaria gestionaba el cansancio mediante la simple limitación de horas de servicio. Sin embargo, la literatura reciente demuestra que el descanso prescriptivo es insuficiente. En respuesta, surgen los Sistemas de Gestión de Riesgos por Fatiga (FRMS, por sus siglas en inglés), definidos por Ghasemi et al. (2022) como marcos holísticos basados en datos biomecánicos y organizacionales que monitorean proactivamente los ritmos circadianos y la carga de trabajo para predecir y neutralizar caídas en el rendimiento cognitivo antes de que desencadenen un incidente.

Para que un FRMS transite de la teoría a la aplicación operativa en un Puesto de Control, requiere de instrumentos de medición validados. En este contexto, destaca la aplicación de la Escala de Somnolencia de Karolinska (KSS). Originalmente desarrollada en entornos clínicos, la KSS se ha adaptado al ámbito del transporte como una herramienta psicométrica de autoevaluación (Akerstedt et al., 2021). Consta de un gradiente del 1 al 9, donde el nivel 1 representa un estado de "extrema alerta" y el nivel 9 indica "extrema somnolencia con esfuerzo para permanecer despierto". En el diseño de modelos operacionales, la integración de la KSS permite a los controladores reportar de forma estandarizada su nivel de alerta durante los turnos nocturnos o de alta demanda, dotando a la supervisión de un indicador temprano para realizar rotaciones preventivas de personal.

3.6.4 Tiempo de Ciclo/Recuperación de Trenes (TCTRE) como Métrica de Resiliencia

Cuando las barreras preventivas (como el CRM y el FRMS) fallan, la ocurrencia de un error operativo o una avería técnica detiene el flujo del sistema. Es en esta fase reactiva donde se evalúa la verdadera capacidad de respuesta del Puesto de Control Central. Para medir matemáticamente esta eficiencia, la ingeniería de operaciones utiliza el indicador TCTRE (Tiempo de Ciclo y Recuperación de Trenes).

Según lo expuesto por Cárdenas y Villanueva (2019) en sus análisis de confiabilidad para redes de transporte masivo, el TCTRE cuantifica el lapso exacto que transcurre desde el instante en que el sistema pierde su disponibilidad nominal (debido a una falla técnica o procedimental) hasta el momento en que el Puesto de Control logra restablecer la frecuencia e intervalos comerciales regulares. A diferencia del simple MTTR (Tiempo Medio de Reparación), que solo evalúa la destreza del equipo de mantenimiento para arreglar un componente, el TCTRE evalúa la agilidad integral del despachador de tráfico para reorganizar los itinerarios, inyectar trenes de reserva y normalizar la operación logística.

3.7 Metodología FRACAS

El acrónimo FRACAS (Failure Reporting, Analysis, and Corrective Action System) encuentra sus raíces operativas la industria militar y aeroespacial de la década de 1970. En la literatura ingenieril contemporánea, Modarres, Kaminskiy y Krivtsov (2023) lo definen como un sistema estructurado de lazo cerrado (closed-loop system) cuya misión es capturar de forma sistemática las deficiencias de un sistema, aislar sus causas fundamentales mediante herramientas analíticas, desplegar contramedidas técnicas y someter dichas soluciones a una validación empírica para garantizar el incremento progresivo de la confiabilidad global.

Según Smith (2020), para que un sistema FRACAS sea considerado metodológicamente válido, debe articularse obligatoriamente sobre cuatro pilares de contención:

- **Reporte y Detección (Reporting):** Levantamiento inalterable y estandarizado de los datos del evento adverso, parametrizando las condiciones preexistentes, el impacto inmediato y la sintomatología del fallo.
- **Análisis de Causa Raíz (Analysis):** Despliegue de herramientas de calidad (como el Diagrama de Ishikawa o el análisis de los 5 Porqués) para decantar los síntomas superficiales y aislar la vulnerabilidad de origen.
- **Acción Correctiva (Corrective Action):** Diseño, asignación de recursos y ejecución de medidas preventivas y correctivas (CAPA) directamente direccionadas a neutralizar la causa raíz identificada.
- **Verificación y Cierre (Closure):** Auditoría longitudinal post-implementación para comprobar estadísticamente que la contramedida impidió la recurrencia del evento adverso en un plazo determinado.

El enfoque RAMS se materializa a través de un sistema FRACAS (Failure Reporting, Analysis, and Corrective Action System), donde el PCC actúa como el centro de reporte y análisis de fallos (operativos y humanos), convirtiéndose en el motor de la mejora continua de la seguridad y la eficiencia del proceso (Birolini, 2017).

El FRACAS tradicional se orienta a la gestión de activos físicos: evalúa la degradación de materiales, calcula el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y asume que la acción correctiva idónea es el rediseño electromecánico o la sustitución de un relé defectuoso (Modarres et al., 2023). Sin embargo, para el diseño de un Modelo de Confiabilidad aplicable a un entorno sociotécnico de alta carga cognitiva como el Puesto de Control Central (PCC), este

enfoque materialista resulta severamente insuficiente. En respuesta a esta limitación, el presente trabajo propone una alteración estructural: la transición hacia un FRACAS Operativo o Sociotécnico.

Bajo esta concepción adaptada, el concepto de "falla" trasciende la simple avería de un tren o la caída de un servidor, expandiéndose para abarcar la "desviación procedimental" y el "error cognitivo bajo estrés". En un FRACAS Operativo, la ambigüedad en una orden de seguridad o la omisión de un protocolo por pérdida de conciencia situacional se capturan y analizan con el mismo rigor matemático que la rotura de un riel.

3.8 Marco Contextual: El Caso de Estudio

3.8.1 La empresa

La EOMMT es una empresa privada creada de forma colaborativa por las empresas Transdev y Metro de Medellín en el año 2021. La empresa tiene como actividad principal la operación de la primera línea del Metro de Quito.

Dentro de los procesos identificados al interior de esta se encuentran:

Tabla 3 Procesos estratégicos de la EOMMT

PROCESOS ESTRATÉGICOS			
DIRECCIÓN GENERAL: DIRECTOR GENERAL			
GESTIÓN	PUESTO RESPONSABLE	PROCESO	PUESTO IMPLICADO DIRECTAMENTE
QHSE	DIRECTOR DE QHSE	CALIDAD	Jefa de Calidad
		SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL	Responsable de SSA
		MEDIOAMBIENTE	Responsable de SSA
		SEGURIDAD FERROVIARIA	Responsable de Seguridad Ferroviaria
ÉTICA Y CUMPLIMIENTO	OFICIAL DE ÉTICA Y CUMPLIMIENTO	ÉTICA Y CUMPLIMIENTO	Oficial de Ética y Cumplimiento

Fuente: elaboración propia con base en la Red documental EOMMT

Tabla 4 Procesos clave de la EOMMT

PROCESOS CLAVE			
DIRECCIÓN DE OPERACIONES: DIRECTOR DE OPERACIONES			
GESTIÓN	PUESTO RESPONSABLE	PROCESO	PUESTO IMPLICADO DIRECTAMENTE
OFICINA TÉCNICA	GERENCIA DE OFICINA TÉCNICA	PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL SERVICIO DE TRANSPORTE	Planificador de Servicios
		GESTIÓN DE PERMISOS DE TRABAJO	Gestor de Permisos de Trabajo
		GESTIÓN DE TURNOS	Gestor De Turnos

PROCESOS CLAVE			
DIRECCIÓN DE OPERACIONES: DIRECTOR DE OPERACIONES			
GESTIÓN	PUESTO RESPONSABLE	PROCESO	PUESTO IMPLICADO DIRECTAMENTE
		CAPACITACIÓN O&M Y GESTIÓN DE PROCEDIMIENTOS	Capacitador O&M Reglamentos Y Procedimientos
		GESTIÓN DE KPIs	Analista de Métodos KPI's
		OPERACIÓN EN LA SALA DE CONTROL	Jefe De Procesos
PCC	GERENTE DEL PCC	SERVICIO DE OPERACIÓN DE TRENES	
		RIESGO PÚBLICO Y CONVIVENCIA CIUDADANA	Coordinador de ARPCC
RECAUDO	GERENTE DE RECAUDO	VENTAS	Jefe de Ventas
		OPERACIÓN DEL SIR	Jefe Operaciones del SIR
		GESTIÓN TRANSACCIONAL	Jefe de Gestión Transaccional
GESTIÓN DE ESTACIONES	GERENTE DE ESTACIONES	GESTIÓN DE ESTACIONES	Supervisor de Estaciones
MANTENIMIENTO	GERENTE DE MANTENIMIENTO	ADMINISTRACIÓN DE ERP	Administrador Sistema ERP/GMAO y Contratos
		COORDINACIÓN DE CONTRATOS DE MANTENIMIENTO (MEX)	
		BODEGA	Jefe de Mantenimiento de Estaciones
		MANTENIMIENTO DE ESTACIONES (MIN)	

Fuente: elaboración propia con base en la Red documental EOMMT

Tabla 5 Procesos de apoyo de la EOMMT

PROCESOS DE APOYO			
GESTIÓN	PUESTO RESPONSABLE	PROCESO	PUESTO IMPLICADO DIRECTAMENTE
LEGAL	DIRECTOR LEGAL	GESTIÓN LEGAL INTERNA	Abogada Especialista
		GESTIÓN JURÍDICA Y CONTRACTUAL CON EPMMQ	Abogada Especialista
COMUNICACIÓN Y CULTURA METRO	DIRECTOR DE COMUNICACIÓN Y CULTURA METRO	COMUNICACIÓN SOCIAL Y CORPORATIVA	Jefe de Comunicaciones
		ATENCIÓN AL USUARIO	Jefe de Atención al Cliente
		GESTIÓN SOCIAL Y CULTURAL	Líder de Proyectos Sociales y Culturales
FINANZAS / ADMINISTRACIÓN	DIRECTORA FINANCIERA ADMINISTRATIVA	ADMINISTRACIÓN	Director Financiero-Administrativo
		TESORERÍA	Líder de Tesorería
		ADQUISICIONES	Coordinador de Compras
		CONTABILIDAD Y TRIBUTACIÓN	Líder Contable
		PLANIFICACIÓN FINANCIERA Y PRESUPUESTO	Líder de Planificación Financiera
		TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN	Jefe de TI
TALENTO HUMANO	DIRECTORA DE TALENTO HUMANO	COMPENSACIONES Y BIENESTAR	Jefe de Administración de Personal
		CONSULTORÍA Y DESARROLLO ORGANIZACIONAL	Jefe de Consultoría y Desarrollo Organizacional

Fuente: elaboración propia con base en la Red documental EOMMT

En la siguiente figura se ilustra el mapa de procesos de la empresa:

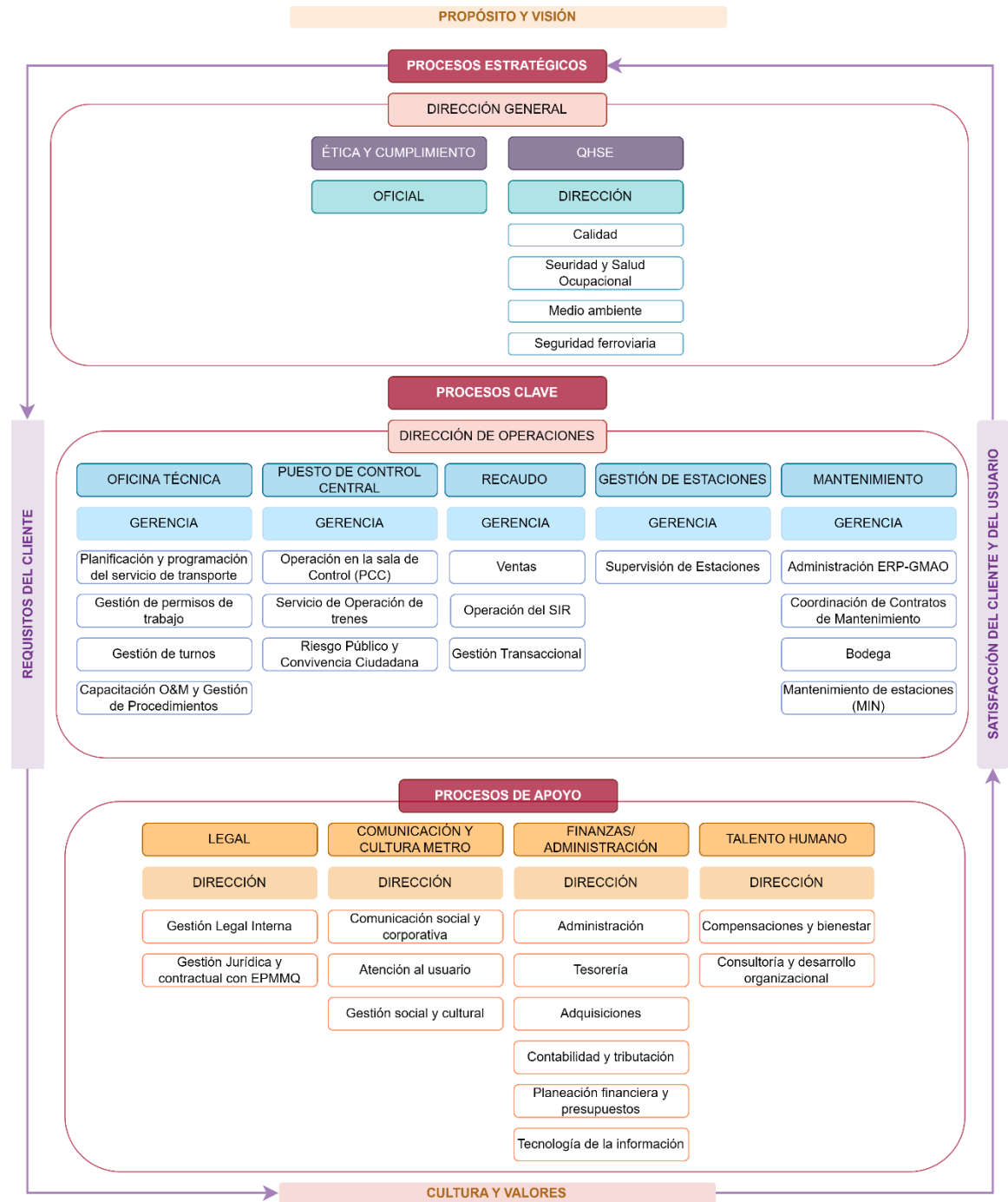


Figura 5 Mapa de procesos de la EOMMT S.A.S.

Fuente: elaboración propia con base en la Red documental EOMMT

3.8.2 Descripción del Puesto de Control Central

Según la ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) el Puesto de Mandos Puesto de Control Central (PCC) es un centro estratégico en el que se supervisa y gestiona la operatividad y la seguridad de la Operación de una red ferroviaria. Para este objetivo, dentro del PCC se recopila información de toda la operación del sistema y con base a un Reglamento de Operaciones, toma decisiones para la movilidad segura de las personas en el sistema ferroviario.

El PCC de la PLMQ es el principal centro neurálgico de la explotación del Metro, punto donde se centraliza la información y la actuación de la operación.

Desde el PCC se opera el tráfico ferroviario en toda la red operativa de la EPMMQ, se supervisa y gestiona la operación en las estaciones y se dirige además la gestión de mantenimiento y el contacto en este ámbito entre el Operador, los Mantenedores y la Empresa Pública Municipal del Metro de Quito. De esta manera, se consigue una optimización adecuada entre la operación, el servicio al usuario y el mantenimiento del Material Móvil y de todo sistema que lo requiera. Las principales actividades a realizar en el subproceso “Operación en el puesto de control central”, son:

- Ejecutar la planificación del servicio dando cumplimiento al programa de explotación de trenes y oferta de servicio.
- Supervisar y controlar la ejecución de la operación a través de la información suministrada por los diferentes sistemas instalados en el PCC:
- Sistema de Gestión de Tráfico
- Sistema de Gestión de Energía (Catenaria, Subestaciones de Alimentación, Subestaciones de Tracción, Centros de Transformación, Centros de Ventilación
- Sistema de Gestión de Estaciones (SCADA): Control de escaleras eléctricas, ascensores, cancelas, ingresos a cuartos técnicos
- Sistema de Información al Viajero
- Emitir de manera oportuna, al personal operativo y contratistas, la información requerida para desarrollar el proceso del ciclo de servicio de manera segura.
- Cumplir la planificación de trenes para la operación comercial y el mantenimiento.
- Reportar incidencias de los equipos y sistemas dispuestos para la operación y gestionar su oportuna atención.

- Solicitar y suministrar al personal operativo, la información oportuna y adecuada relacionada con el proceso del ciclo de servicio.
- Ejecutar las estrategias necesarias para el adecuado cumplimiento el proceso del ciclo de servicio, con especial atención en situaciones de incidentes o accidentes que afecten la prestación del servicio.

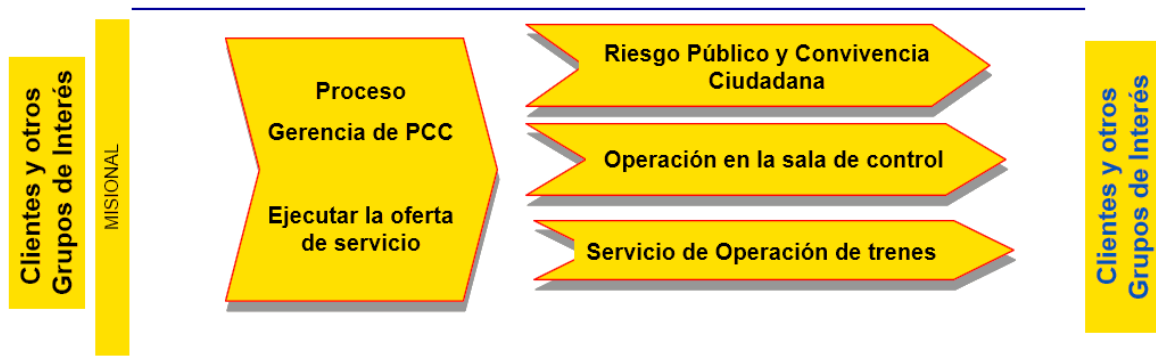


Figura 6 Mapa de procesos resumida PCC. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el Mapa de Procesos, el Proceso de PCC, lleva a cabo tres subprocesos:

- Operación en la sala de Control
- Servicio de Operación de trenes
- Riesgo Público y Convivencia Ciudadana.

Jerarquía

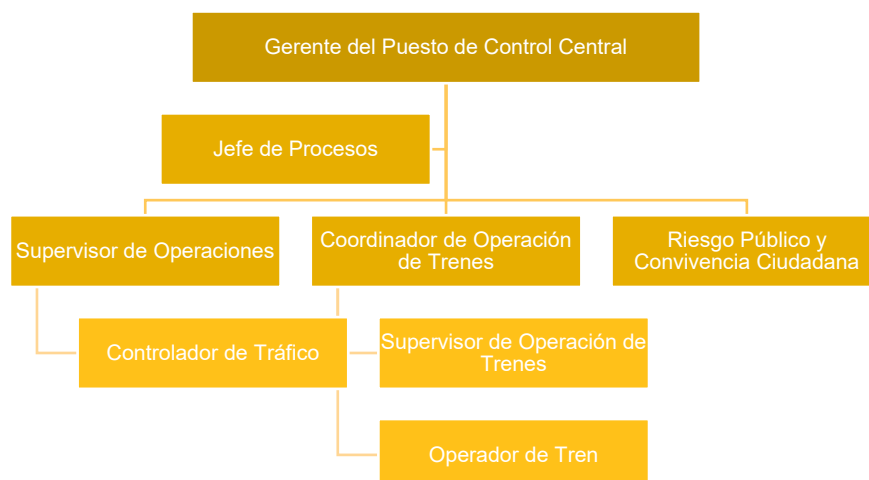


Figura 7 Mapa de jerarquía PCC EOMMT
Fuente: elaboración propia con base en la Red documental EOMMT

4 METODOLOGÍA

4.1 Tipo y diseño de investigación

El presente estudio se enmarca en una investigación aplicada con un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) y un alcance descriptivo-propositivo. Su objetivo central es generar una solución concreta a un problema organizacional específico, materializada en el diseño de un modelo híbrido sectorial de mejora continua (MMCI-PCC) para el Puesto Central de Control (PCC). De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), la investigación aplicada es aquella que utiliza el conocimiento teórico y técnico disponible para resolver necesidades prácticas en contextos organizacionales.

Para lograr este propósito, el diseño metodológico se despliega a través de las siguientes dimensiones:

- **Dimensión Cualitativa:** Se analizan documentos normativos, informes de auditoría interna y manuales de procesos (ISO 9001 e ISO 22163).
- **Dimensión Cuantitativa:** Se explotan registros operativos (informes diarios de operación y bitácoras) para caracterizar empíricamente patrones de fallo, frecuencias y tiempos de recuperación. Este abordaje sigue la lógica de los diseños mixtos explicativos, en los que los datos cuantitativos se enriquecen con la interpretación cualitativa del contexto sociotécnico (Creswell & Creswell, 2018).
- **Alcance Descriptivo:** Caracteriza de forma sistemática el estado actual de la gestión de los procesos críticos en el PCC, documentando resultados mediante información empírica.
- **Alcance Propositivo:** A partir del diagnóstico descriptivo, se diseña y desarrolla el Modelo de Mejora Continua Integrado (MMCI-PCC). Esta fase define la arquitectura del modelo, sus procedimientos tácticos y su sistema de evaluación (KPIs). Este diseño se alinea con los estudios de desarrollo de modelos de gestión corporativa, en los que se combinan fases de descripción, análisis y diseño para generar propuestas directamente implementables en contextos reales (Saunders, Lewis & Thornhill, 2019).

Población y unidad de análisis

Dada la naturaleza sociotécnica del Puesto Central de Control, la investigación requirió delimitar dos unidades de análisis complementarias:

- **Unidad de análisis documental:** Estuvo constituida por el universo de Informes Diarios de Operación (IDO) en el periodo comprendido entre el 1 de diciembre del 2023 y el 28 de febrero del 2026. Se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia para capturar la casuística operativa más reciente y representativa del estado actual del sistema.
- **Población humana (Unidad de análisis sociotécnica):** Correspondió al censo total del personal operativo adscrito a la sala de control. Estuvo conformada por los 27 Controladores de Tráfico (COT) distribuidos en los distintos turnos rotativos, así como por el equipo de Supervisores de Operaciones. Al ser una población finita y accesible, no se requirió extraer una muestra, evaluándose al 100% del personal.

4.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para garantizar la validez y profundidad del diagnóstico del Puesto Central de Control (PCC), la presente investigación adoptó un enfoque metodológico mixto (cuantitativo y cualitativo), utilizando la triangulación de datos a través de tres técnicas principales: el análisis documental, la medición estadística de datos operativos y la observación participante.

4.2.1 Análisis Documental

Se revisaron las fuentes internas del Sistema de Gestión Integrado (SGI) Entre los documentos analizados se incluyen la hoja de proceso SGI-MP-01 (Anexo 1), los Informes Diarios de Operación (IDO), los informes de auditoría interna del Sistema de Gestión Integrado, los procedimientos y reglamentos operativos, así como matrices de riesgos e indicadores existentes del PCC. Estos insumos proporcionan evidencia trazable sobre la estructura del proceso, sus responsabilidades, controles actuales y desempeño histórico, sirviendo de base para el diagnóstico (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

4.2.2 Medición Estadística de datos operativos

Para el tratamiento de la información histórica, se diseñaron instrumentos específicos que permitieron estructurar los datos extraídos de la normativa y la operación:

1. **Resultados de auditorías:** permite evaluar de manera estructurada el grado de cumplimiento del proceso de operación en sala de control respecto de aspectos como gestión de riesgos, control documental, medición del desempeño y participación de los trabajadores (ISO, 2015; ISO, 2018).

2. **Matriz de análisis de incidencias para los IDO:** cada evento se clasifica según tipo de fallo, causa probable, tiempo de afectación al servicio y Tiempo Medio de Recuperación (MTTR), facilitando el tratamiento cuantitativo de los datos y la identificación de patrones de falla recurrentes, de acuerdo con las recomendaciones de la ingeniería de confiabilidad RAMS (Birolini, 2017).

4.2.3 Observación Participante (Enfoque Cualitativo y Sociotécnico)

Dado que el entorno de un Puesto de Control Central constituye un sistema sociotécnico complejo de alta confiabilidad, el análisis exclusivamente documental resulta insuficiente para capturar las dinámicas reales del factor humano y la cultura organizacional (Salvendy, 2012). Por ello, se aplicó la técnica de observación participante activa, definida metodológicamente como la inmersión directa del investigador en el contexto natural del fenómeno de estudio, interactuando con los sujetos operacionales durante la ejecución de sus actividades rutinarias y de emergencia (Taylor, Bogdan, & DeVault, 2015).

Esta técnica se ejecutó durante los turnos rotativos (AM, PM y Noche) a lo largo del periodo de diagnóstico. Su aplicación permitió levantar hallazgos cualitativos críticos que no figuran en los registros formales de no conformidades del Sistema Integrado de Gestión (SGI). Específicamente, la observación participante se centró en evaluar dos dimensiones operativas fundamentales:

1. **La carga cognitiva y ergonomía documental:** Analizando el comportamiento, el tiempo de latencia y el nivel de estrés de los Controladores de Tráfico (COT) al interactuar con los manuales físicos y documentos PDF durante el desarrollo de incidencias simuladas o reales.
2. **La transferencia de la Conciencia Situacional en el relevo de turnos:** Evaluando la eficacia de los *briefings* (reuniones de entrega de guardia) y los mecanismos utilizados por los operadores para actualizarse sobre disposiciones temporales o configuraciones de la vía tras retornar de sus periodos de descanso.

La integración metodológica de la observación participante se diseñó para proporcionar el marco empírico necesario que permitiera contrastar el "trabajo imaginado" (los procedimientos ideales documentados bajo ISO 9001) contra el "trabajo real" (la ejecución diaria bajo presión temporal y fatiga), proveyendo así el sustento fenomenológico para la posterior estructuración de los Niveles de Defensa del modelo propuesto (Hollnagel, 2014).

4.3 Procedimiento y fases de la investigación

El despliegue del diseño metodológico se ejecutó de manera secuencial a través de tres fases fundamentales:

- **Fase I (Diagnóstico Situacional):** Comprendió el levantamiento de información en campo mediante la observación participante y la revisión de la hoja de proceso. En esta etapa se identificaron las brechas existentes entre la ejecución operativa diaria y los requisitos teóricos de calidad y seguridad.
- **Fase II (Análisis de Confiabilidad):** Consistió en la depuración y tratamiento estadístico de los IDO para clasificar los tiempos de fallo (MTTR), logrando identificar cuáles eran los principales cuellos de botella tácticos y documentales al momento de resolver una incidencia.
- **Fase III (Diseño y Estructuración del Modelo):** A partir de las brechas y cuellos de botella detectados, se diseñó la arquitectura teórica del MMCI-PCC basándose en el enfoque de Defensa en Profundidad (Reason, 1990). Se desarrollaron las herramientas tácticas propuestas (el RDCO y las *Action Cards*) y se definió el cuadro de indicadores (KPIs) para sostener la mejora continua.

4.4 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos cuantitativos obtenidos de los IDO fueron consolidados en hojas de cálculo y procesados mediante estadística descriptiva. Se utilizó el análisis de distribución de frecuencias y diagramas de Pareto para jerarquizar las fallas operativas más críticas y evidenciar los tiempos de respuesta.

Por su parte, la información cualitativa extraída de las jornadas de observación participante fue sometida a un análisis de contenido temático. Los hallazgos se categorizaron bajo dimensiones sociotécnicas (ergonomía documental, deficiencias de comunicación y cultura organizacional). Esta triangulación de datos numéricos y cualitativos brindó el soporte empírico necesario para justificar la creación de las distintas capas de defensa del modelo.

5 RESULTADOS

5.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Conocer el estado actual de la organización permite entender los recursos y herramientas disponibles en sus operaciones diarias, así como para identificar debilidades y fortalezas que puedan afectar su desempeño. Esta información sirve como base para proponer el diseño de sistemas de gestión que se alineen con las normativas, sugiriendo mejoras basadas en evidencias reales.

En cumplimiento del primer objetivo específico de esta investigación, el presente capítulo desarrolla el diagnóstico de la gestión de procesos críticos en el PCC, estableciendo la línea base sobre la cual se diseñará el modelo propuesto. Para determinar esta situación actual, se ha realizado un análisis estructurado en las siguientes fuentes de evidencia primarias:

- Hallazgos de la última auditoría interna del SGI.
- Análisis cuantitativo de los Informes Diarios de Operaciones (IDO) correspondientes al período entre el 1 de diciembre del 2025 y el 28 de febrero del 2026.
- Mecanismos actuales de transmisión del conocimiento temporal.
- Análisis de los indicadores de desempeño vigentes del PCC.
- Observación participante durante la operación en turnos rotativos.

5.1.1 Hallazgos de la Auditoría Interna del SGI

Para establecer la línea base normativa de la organización y comprender el entorno en el que opera el Puesto Central de Control (PCC), se analizaron los resultados de la última auditoría interna del Sistema de Gestión de Calidad (ISO 9001:2015) de la EOMMT S.A.S.

Como se detalla en la Tabla 6, la auditoría abarcó todos los procesos de provisión de servicios especializados para la operación de la Primera Línea del Metro de Quito. El análisis de cumplimiento de las cláusulas normativas (Tabla 7) revela vulnerabilidades sistémicas en la organización, destacando la presencia de No Conformidades (NC) en áreas críticas como la planificación (cláusula 6.1: Acciones para abordar riesgos) el apoyo (cláusula 7.2: Competencia) y la Operación. Estas desviaciones macro organizacionales impactan directamente la eficacia operativa de los subprocesos derivados.

Tabla 6 Descripción de la última auditoría realizada a la EOMMT S.A.S.

DESCRIPCIÓN DE LA AUDITORÍA				
CRITERIOS				
- SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD ISO 9001:2015				
- OTRO: Requisitos internos del SGC – Requisitos legales aplicables.				
FECHA INICIO: 3 – septiembre - 2025 FECHA FIN: 11 – septiembre - 2025				
ALCANCE				
Todos los procesos del SGC que cubren la provisión de servicios especializados para la operación de la Primera Línea del Metro de Quito: Gestión de Estaciones, Mantenimiento, PCC, Recaudo y Oficina Técnica.				
OBJETIVO DE LA AUDITORÍA				
Verificar el mantenimiento y mejora del Sistema de Gestión de Calidad.				
Cláusula ISO 9001:2015				
4. Contexto de la organización	C	NC	OBS	ODM
4.1 Comprensión de la organización y su contexto	X			
4.2 Entendimiento de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	X			
4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión	X			1
4.4 Sistemas de gestión	X			1
5. Liderazgo	C	NC	OBS	ODM
5.1 Liderazgo y compromiso	X			
5.2 Política	X			
5.3 Roles, responsabilidades y autoridades en la organización	X			
6. Planificación	C	NC	OBS	ODM
6.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades		2	2	2
6.2 Objetivos y planificación para lograrlos	X			
6.3 Planificación de Cambios		1		
7. Apoyo	C	NC	OBS	ODM
7.1.1 Recursos – Generalidades		1		
7.1.2 Personas	X			
7.1.3 Infraestructura		1		1
7.1.4 Ambiente para la operación de los procesos	X		1	
7.1.5 Recursos de seguimiento y medición	X			
7.1.6 Conocimiento de la organización	X			
7.2 Competencia		2	1	
7.3 Toma de conciencia	X			
7.4 Comunicación	X			1
7.5.1 Información documentada - Generalidades	X			
7.5.2 Creación y actualización			3	
7.5.3 Control de la información documentada		1	5	2
8. Operación	C	NC	OBS	ODM
8.1 Planificación y control operacional	X			
8.2 Requisitos para los productos y servicios				
8.2.1 Comunicación con el cliente		1		
8.2.2 Determinación de los requisitos para los productos y servicios	X			
8.2.3 Revisión de los requisitos para los productos y servicios	X			
8.2.4 Cambios en los requisitos para los productos y servicios	X			
8.3 Diseño y desarrollo	N/A			
8.4.1 Control de los procesos, productos y servicios suministrados externamente - Generalidades		1		2
8.4.2 Tipo y alcance del control	X			
8.4.3 Información para los proveedores externos	X			
8.5 Producción y provisión del servicio				
8.5.1 Control de la producción y de la provisión del servicio		3	1	2
8.5.2 Identificación y trazabilidad	X			
8.5.3 Propiedad perteneciente a los clientes o proveedores externos	X			

DESCRIPCIÓN DE LA AUDITORÍA				
CRITERIOS				
- SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD ISO 9001:2015 - OTRO: Requisitos internos del SGC – Requisitos legales aplicables.				
FECHA INICIO: 3 – septiembre - 2025 FECHA FIN: 11 – septiembre - 2025				
ALCANCE				
Todos los procesos del SGC que cubren la provisión de servicios especializados para la operación de la Primera Línea del Metro de Quito: Gestión de Estaciones, Mantenimiento, PCC, Recaudo y Oficina Técnica.				
OBJETIVO DE LA AUDITORÍA				
Verificar el mantenimiento y mejora del Sistema de Gestión de Calidad.				
Cláusula ISO 9001:2015				
8.5.4 Preservación		1		2
8.5.5 Actividades posteriores a la entrega	X			
8.5.6 Control de los cambios	X			3
8.6 Liberación de los productos y servicios	X		1	
8.7 Control de salidas no conformes		2	1	3
9. Evaluación del desempeño	C	NC	OBS	ODM
9.1.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación – Generalidades		4	3	4
9.1.2 Satisfacción del cliente	X			1
9.1.3 Análisis y evaluación	X		4	
9.2 Auditoría interna	X			
9.3.1 Revisión por la alta dirección – Generalidades	X			
9.3.2 Entradas de la revisión por la dirección	X			
9.3.3 Salidas de la revisión por la dirección	X			
10. Mejora	C	NC	OBS	ODM
10.1 Generalidades	X			
10.2 No conformidades y acciones correctivas	X			
10.3 Mejora continua	X			

Fuente: Red documental EOMMT.

La auditoría de septiembre de 2025, aunque no arrojó no conformidades mayores para el PCC, reveló debilidades significativas que sustentan la necesidad de este trabajo. El hallazgo clave (NCm3) indica que para los riesgos: “Estrategia operativa y de planificación no acorde con la demanda”, “Inadecuada gestión de un riesgo operacional”, “Desacierto en la generación de recomendaciones”, evaluados como “extremos” no se establece el control para su mitigación. Este punto es fundamental, ya que evidencia una brecha en el cumplimiento de la Cláusula 6.1 de ISO 9001 (Acciones para abordar riesgos y oportunidades). Demuestra que, si bien los riesgos están identificados, el sistema de gestión actual carece de los procesos formalizados para planificar y ejecutar acciones que los mitiguen de manera sistemática.

Adicionalmente, se observaron desviaciones en el control de la información documentada (OBS 9, sobre el formato SGI-REG-176), lo que apunta a debilidades en la aplicación de la Cláusula 7.5.3 de ISO 9001.

Tabla 7 Resultados de la auditoría para el subproceso: PCC-operación de la sala de control

RESULTADOS DE LA AUDITORÍA PARA EL SUBPROCESO: PCC – Operación de la Sala de Control (QUITUMBE)		
NCm3	ISO 9001-6.1	Para los riesgos: “Estrategia operativa y de planificación no acorde con la demanda”, “Inadecuada gestión de un riesgo operacional”, “Desacuerdo en la generación de recomendaciones”, no se establece el control para su mitigación. La norma ISO 9001:2015 en su numeral 6.1 (Acciones para abordar riesgos y oportunidades) indica que: Al planificar el sistema de gestión de la calidad, la organización debe considerar las cuestiones referidas en el apartado 4.1 y los requisitos referidos en el apartado 4.2, y determinar los riesgos y oportunidades que es necesario abordar con el fin de: a) asegurar que el sistema de gestión de la calidad pueda lograr sus resultados previstos; b) aumentar los efectos deseables; c) prevenir o reducir efectos no deseados; d) lograr la mejora. La organización debe planificar: e) las acciones para abordar estos riesgos y oportunidades. f) la manera de integrar e implementar las acciones en sus procesos del sistema de gestión de la calidad
OBS 9	ISO 9001-7.5.3	El formato SGI-REG-176 informe diario de operaciones no se encuentra vigente desde 04- 08-2025 y requiere actualizarse en la Hoja de procesos. Potencial incumplimiento a norma ISO 9001, numeral 7.5.3: Para el control de la información documentada, la organización debe abordar las siguientes actividades según corresponda... c) control de cambios.

El hallazgo de auditoría NCm3 confirma la necesidad de un sistema formal para la gestión de riesgos. El MMCI-PCC responde directamente a esto al integrar la metodología FRACAS, que no solo reporta fallos, sino que introduce las fases de Análisis (Analysis) y Acción Correctiva (Corrective Action), creando el control para la mitigación que la auditoría señala como ausente.

5.1.2 Análisis cuantitativo de la operación diaria

El análisis de los Informes Diarios de Operación de la Primera Línea del Metro de Quito (PLMQ), con corte entre diciembre de 2023 y febrero de 2026, evidencia un entorno dinámico y altamente demandante para el Puesto de Control Central (PCC). Durante este periodo, se validaron 1,200 incidencias operativas reales (excluyendo pruebas y simulacros) que impactaron el servicio comercial, acumulando un total de 4,570.5 minutos de retraso.

Como se detalla en la Tabla 8, la tipología de los incidentes demuestra que la operación diaria lidia abrumadoramente con la categoría de Fallas de Material Rodante, la cual representa casi el 41% de todos los eventos (491 incidencias). Estas fallas mecánicas y

lógicas en los trenes obligan a los controladores a ejecutar procedimientos de resolución rápida a distancia. Sin embargo, la mayor carga en tiempo perdido no proviene de los trenes, sino del sistema de Señalización y Control (ATC/ATP); aunque ocurre con menor frecuencia (243 eventos), consume más de un tercio del tiempo total de retrasos (1,620 minutos), debido a la complejidad técnica requerida para reiniciar los bloqueos de vía y recuperar códigos de marcha. Asimismo, la operación diaria enfrenta una disrupción constante por el factor humano, documentando 43 errores operativos y 98 eventos relacionados con usuarios y emergencias de seguridad que alteran la planificación.

Tabla 8 Retrasos por Incidencia entre el 1 de diciembre del 2023 y el 28 de febrero del 2026.

Categoría Operativa	Número de Incidencias	Minutos de Retraso
Señalización y Control (ATC/ATP)	243	1,620.0
Fallas de Material Rodante	491	964.5
Suministro de Energía	48	815.0
Seguridad, Usuarios y Factores Ext.	98	432.0
Telecomunicaciones y Sistemas	28	301.0
Estrategia y Regulación de Tráfico	219	241.0
Errores Operativos y de Maniobra	43	63.0
Fenómenos Naturales	9	62.0
Gestión y Apertura de Estaciones	8	58.0
Personal y Capacitación	10	14.0
Fallas de Infraestructura y Vía	3	0.0
TOTAL	1,200	4,570.5

Fuente: Elaboración propia con base a los IDOs del Periodo.

Las líneas de metro de alta capacidad operan bajo esquemas de intervalos rígidos (headways), que en el caso de la PLMQ es de aproximadamente 5 minutos en horas pico. Cualquier fallo técnico que supere este umbral temporal genera un fenómeno conocido como "retraso propagado". Si el tiempo de respuesta del PCC para solucionar un bloqueo de puertas o un fallo de ATP excede el intervalo comercial, el tren precedente se detiene, provocando aglomeración en andenes, cancelación de vueltas y una caída drástica en la calidad percibida por el usuario.

El tiempo de respuesta promedio (táctico) calculado con los datos del IDO es de 5.01 minutos por incidencia, con casos de excelencia donde la resolución se logra en un mejor tiempo de 1.0 minuto en fallas resueltas eficientemente en cabina.

Tomar acciones para estandarizar este tiempo de respuesta no es solo una buena práctica operativa, sino una obligación normativa para la implementación del SGI:

- **ISO 9001:2015 (Gestión de la Calidad):** La cláusula 8 (Operación) exige el control de la producción y de la prestación del servicio en condiciones controladas. La alta variación en los tiempos de respuesta demuestra que el proceso de resolución de

fallas depende de la habilidad individual del supervisor y no de un estándar de calidad controlado.

- **UNE EN 13816 (Calidad en el Transporte Público de Pasajeros):** Esta norma europea dictamina que la "Puntualidad" y "Fiabilidad" son los criterios de mayor peso para la satisfacción del cliente. Estandarizar la respuesta operativa garantiza que las interrupciones se mitiguen antes de afectar la oferta comercial prometida al usuario.
- **ISO 22163 (IRIS - International Railway Industry Standard):** Exige que la organización posea un flujo documentado para la gestión rápida de anomalías operacionales (FRACAS) minimizando los tiempos de inactividad (MTTR).

A continuación, la Tabla 11 detalla el tiempo promedio de recuperación de las fallas tácticas (menores a 60 minutos) según el supervisor de turno a cargo

Tabla 9 Tiempos promedio de resolución en minutos y número de eventos por supervisor

SOP	Fallas de Material Rodante	Señalización y Control (ATC/ATP)	Telecomunicaciones y Sistemas	Errores Operativos (Maniobra)
SL	2.40 min (45)	6.59 min (29)	5.67 min (3)	4.00 min (1)
CG	2.76 min (72)	7.09 min (44)	10.50 min (4)	9.00 min (2)
MO	3.12 min (24)	8.35 min (23)	4.67 min (3)	2.50 min (2)
DP	3.24 min (36)	7.25 min (12)	6.00 min (3)	3.33 min (3)
GT	3.47 min (47)	6.14 min (28)	4.00 min (1)	4.75 min (4)

Fuente: Elaboración propia

El análisis de estos datos revela variaciones porcentuales críticas frente a la misma naturaleza de incidentes, lo cual justifica la urgencia de estandarizar los tiempos de respuesta:

1. **Fallas de Material Rodante (Brecha del 44.5%):** Mientras que un SOP resuelve las anomalías de trenes en un promedio óptimo de 2.40 minutos (evitando alterar el intervalo comercial), otro SOP promedia 3.47 minutos para las mismas alarmas de cabina. Esto representa una diferencia de eficiencia del 44.5%.
2. **Señalización y Control (Brecha del 35.9%):** Las fallas complejas del ATP/ATC son gestionadas de manera sumamente eficaz un SOP (6.14 minutos promedio). En contraste a otro al que le toma 8.35 minutos restablecer el mismo fallo sistémico. Esta brecha del 36% provoca que en un caso se cancele una vuelta comercial y en el otro no.

3. **Telecomunicaciones (Brecha del 162.5%):** El reinicio de servidores y consolas TETRA muestra la mayor discrepancia. Mientras *que un SOP* documenta reinicios de 4.00 minutos, otro promedia 10.50 minutos, una brecha porcentual inaceptable bajo estándares ISO que compromete la comunicación de toda la red subterránea.

Esta marcada desviación estándar confirma que el "know-how" (saber hacer) se encuentra concentrado de forma aislada en ciertos individuos, por lo que el Sistema de Gestión Integrado (SGI) deberá implementar procesos de retroalimentación y estandarización de acciones ante incidentes.

Tabla 10 Promedio de atención a las principales incidencias. Fuente: Datos del IDO PLMQ

Categoría Operativa	Promedio Actual
Fallas de Material Rodante	2.98 min
Errores Operativos (Maniobra)	4.36 min
Telecomunicaciones y Sistemas	6.89 min
Señalización y Control (ATC/ATP)	7.30 min

Fuente: Elaboración propia

El análisis cuantitativo de los Informes Diarios de Operación (IDO) reveló una alta variabilidad en los tiempos de respuesta del Puesto de Control Central frente a fallas críticas. Esta dispersión temporal evidencia que la resolución de incidencias depende actualmente de la pericia, memoria y manejo del estrés individual del personal de turno, más que de un proceso sistémico controlado. El modelo MMCI-PCC aborda directamente esta debilidad operativa al incorporar herramientas de estandarización cognitiva, tales como las Tarjetas de Acción Rápida (QRH) y los protocolos de comunicación cerrada (CRM). Estas barreras sociotécnicas eliminan la improvisación bajo estrés, permitiendo homologar la toma de decisiones en la sala de control para reducir significativamente el Tiempo de Ciclo y Recuperación de Trenes (TCTRE), protegiendo así la regularidad de los intervalos comerciales exigida contractualmente.

5.1.3 Análisis de la Matriz de Riesgos Operacionales

Al evaluar la Matriz de Riesgos del subproceso de Operación en la Sala de Control, se identifica que la organización ha reconocido adecuadamente los escenarios de mayor criticidad, calificando como "Extremos" o "Críticos" eventos como la falla de sistemas de señalización, la inadecuada gestión de un riesgo operacional y el desacierto en la generación de recomendaciones.

Tabla 11 Matriz de Riesgos del Subproceso Operación en la Sala de Control -PCC

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Riesgo Inherente	Controles	Grado Protección	Riesgo Residual
Terrorismo en las instalaciones y/o vehículos de pasajeros	Probable	Mayor	Crítico	•Socialización del SGI-PO-QHSE-06 Procedimiento para la atención por atentado terrorista. •SGI-ITR-PCC-01 Instructivo de observación de un elemento y/o material extraño en la PLMQ	Apropiada	Moderado
Sismo o terremoto e inundaciones que afecta el sistema.	Probable	Moderado	Crítico	•Socialización de procedimientos de emergencia (12)	Apropiada	Bajo
Falla de los sistemas esenciales para la operación	Casi Certeza	Catastrófico	Extremo	•El fallo de estos sistemas no depende de la EOMMT, los trabajos de mantenimiento se encuentran al alcance de MEX, no obstante, se cuenta con diversos procedimientos operativos en los que se establece como actuar	Apropiada	Alto
Falla Técnica en Sistema de Señalización	Casi Certeza	Catastrófico	Extremo		Apropiada	Alto
Falla en cambiavías línea férrea	Probable	Mayor	Crítico		Apropiada	Moderado
Afectación Sistemas de Información de la Operación	Casi Certeza	Mayor	Extremo	•Ejecución de procedimientos operativos para actuar ante la presencia de fallos: procedimientos para averías en el sistema de megafonía y en sistema de radio de tren.	Apropiada	Moderado
Perdida parcial o total del sistema de energía en la PLMQ	Probable	Catastrófico	Extremo	•Socialización del SGI-PO-PCC-49 Procedimiento de respuesta ante incidencias en el suministro eléctrico en la PLMQ	Apropiada	Moderado
Baja disponibilidad de trenes	Casi Certeza	Moderado	Crítico	•SGI-PLA-04 Plan de operación para controlar las desviaciones se registran en el informe diario de operaciones, el Supervisor de Operaciones está facultado para tomar estrategias operacionales cuando no se cuenta con la flota	Apropiada	Moderado
Indisponibilidad de instalaciones y/o equipos	Probable	Moderado	Crítico	•Se analiza el control de este riesgo, desde la perspectiva del reporte de fallas que presente el sistema, más no de su reparación: SGI-PO-PCC-14 Instrucción operacional de trabajos y obras IOT	Apropiada	Bajo
Estrategia operativa y de planificación no acorde con la demanda	Casi Certeza	Mayor	Extremo	•Reuniones pre-jornada para retroalimentación controlada y recordatorio sobre la conciencia situacional. •Regirse al Reglamento de Operaciones para la toma de decisiones	Apropiada	Moderado
Inadecuada gestión de un riesgo operacional	Casi Certeza	Mayor	Extremo		Apropiada	Moderado
Desacierto en la generación de recomendaciones	Casi Certeza	Mayor	Extremo		Apropiada	Moderado

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los controles establecidos revela una vulnerabilidad sistémica: la mitigación del riesgo residual depende casi en su totalidad de controles administrativos blandos, tales como la "socialización de procedimientos", "reuniones pre-jornada" y el precepto de "regirse al Reglamento de Operaciones". En el contexto de la Ingeniería de Factores Humanos, estas medidas no constituyen barreras robustas frente al error humano bajo condiciones de alta carga cognitiva.

El SGI actual documenta el riesgo, pero carece de mecanismos operativos continuos para asegurar que el controlador mantendrá la conciencia situacional y aplicará el procedimiento libre de errores. Esta dependencia excesiva de la fiabilidad humana sin un soporte procedimental estructurado es la justificación principal para la implementación del Modelo de Mejora Continua Integrada (MMCI-PCC).

5.1.4 Resultados de la observación participante en la Sala de Control

En el marco del diagnóstico de la situación actual, la inmersión directa en los turnos rotativos permitió detectar vulnerabilidades operativas que no suelen reflejarse en los registros formales de calidad ni en las auditorías tradicionales. Al analizar la interacción diaria de los Controladores de Tráfico (COT) con el sistema, los hallazgos cualitativos más críticos se agruparon en dos grandes áreas:

5.1.4.1 1. Sobrecarga cognitiva y uso ineficiente de los documentos (Falta de ergonomía)

Durante la gestión de emergencias o incidencias, se evidenció empíricamente que los controladores experimentan altos niveles de estrés y pierden un tiempo valioso (latencia) al intentar localizar directrices específicas. El problema radica en que deben navegar por manuales muy extensos y densos, ya sean en formato físico o en archivos PDF. Esta dificultad demuestra que la documentación tradicional del sistema no está adaptada para usarse bajo presión temporal. Según los principios de la ergonomía cognitiva y la psicología aplicada a la operación (Wickens et al., 2015), un diseño documental deficiente aumenta el riesgo de error humano, lo cual justifica plenamente la necesidad de transitar hacia el diseño de herramientas tácticas de lectura rápida, como las Action Cards operativas o el manual QRH.

5.1.4.2 2. Degradación de la conciencia situacional y vulnerabilidad en la transmisión del conocimiento

Al evaluar las reuniones de relevo de guardia (briefings), se identificó una vulnerabilidad latente en la gestión de disposiciones operativas temporales (tales como acuerdos entre áreas, gestión de claves, instrucciones de mantenimiento o actualizaciones del sistema

SCADA). Actualmente, estas directrices se transmiten principalmente de forma oral o mediante correos electrónicos no estructurados.

Se constató que, cuando un operador regresa de sus periodos de descanso o vacaciones, carece de un mecanismo estandarizado, visual y de lectura obligatoria para actualizarse. Dependiendo exclusivamente de la memoria y la tradición oral debilita severamente la conciencia situacional del equipo al asumir la consola (Endsley & Jones, 2011) y provoca constantes fricciones operativas que generan quejas no registradas formalmente. Desde la óptica de la calidad, esta práctica evidencia una brecha directa en el cumplimiento de las Cláusulas 7.1.6 ("Conocimientos de la organización") y 7.4 ("Comunicación") de la norma ISO 9001, al romper el principio fundamental de disponibilidad y retención de la información crítica.

5.1.5 Análisis de los Indicadores de Desempeño (KPI) Actuales del PCC

Al evaluar el desempeño del Puesto de Control Central frente a los lineamientos del Sistema de Gestión Integrado (SGI) de la EOMMT, se evidencia una brecha significativa en la medición de la eficiencia operativa.

Actualmente, el cumplimiento del PCC se evalúa de manera indirecta a través de los indicadores macro de la operadora, exigidos contractualmente por la Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito (EPMMQ). Estos KPI se centran exclusivamente en el resultado final del servicio, tales como:

- Disponibilidad (Grado de cumplimiento del servicio): Se calcula en función de la sumatoria de kilómetros no realizados frente a los kilómetros programados, con un umbral de aceptación del 95% al 98%.
- Puntualidad del servicio: Métrica de adherencia al plan de operación, penalizando únicamente a los trenes que han circulado con un retraso superior a los 4 minutos.
- Seguridad, Incidentes y Accidentes (Funcionamiento de subsistemas): Mide el control y funcionamiento de los sistemas de seguridad física (ej. sistema antiincendios, cámaras de vigilancia y anti-intrusión), calculando la relación entre el tiempo real de funcionamiento y el tiempo teórico (con una exigencia del 96% al 98%).

Si bien estos indicadores demuestran que el PCC logra mantener la operación a flote (eficacia), adolecen de un sesgo de "resultado". La formulación matemática de estos KPIs está diseñada para auditar máquinas y horarios (kilómetros recorridos, minutos de retraso,

disponibilidad de cámaras), pero son completamente "ciegos" ante el proceso humano que hace posible el cumplimiento de dichos objetivos.

Esta carencia de indicadores microscópicos genera una "falsa sensación de seguridad" sistémica. Al medir únicamente que "el tren llegó a tiempo" o que se "Completó el kilometraje", la organización invisibiliza el sobreesfuerzo, la improvisación operativa o las fallas latentes de comunicación que ocurrieron dentro de la Sala de Control para lograr ese objetivo. Esta limitación documental justifica la necesidad imperativa de transitar hacia el modelo MMCI-PCC, el cual incorpora métricas proactivas de Factor Humano (como la Tasa de Adherencia al Protocolo de Comunicaciones - TAPC) y de resiliencia operativa (como el TCTRE), alineándose con las exigencias de mejora continua de la ISO 9001 y los estándares de seguridad de la ISO 22163.

5.2 Diseño del Modelo de Mejora Continua del PCC (MMCI-PCC)

Como respuesta directa a las vulnerabilidades operativas y documentales evidenciadas en el diagnóstico previo, y en cumplimiento del segundo objetivo específico, se presenta el diseño integral del Modelo de Mejora Continua.

El modelo propuesto, se trata de un Modelo de Gestión Sectorial Integrado denominado "Modelo de Mejora Continua Integrado (MMCI-PCC)", no busca reemplazar el Sistema de Gestión de Calidad (SGC) existente bajo ISO 9001:2015, sino reforzarlo con principios de ingeniería RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) derivados de la norma EN 50126 y los requisitos suplementarios de la ISO 22163. La estructura se basa en la premisa de que un SGC administrativo documenta procesos, mientras que un modelo operativo garantiza la continuidad técnica.

La arquitectura de este modelo se ha estructurado bajo el enfoque de Defensa en Profundidad (James Reason), articulando herramientas de ingeniería RAMS, Factores Humanos y estandarización normativa.

La integración se realiza estructurando el ciclo de mejora continua (PHVA) de la siguiente manera: el "Planificar" define los objetivos de disponibilidad del servicio; el "Hacer" ejecuta la operación bajo protocolos estructurados; el "Verificar" recolecta datos reales de fallos en el PCC; y el "Actuar" ajusta los procedimientos basándose en el análisis de causa raíz (Birolini, 2017).

Se establecen cuatro niveles de barreras defensivas sucesivas, cada una dotada de metodologías, herramientas operativas e indicadores de desempeño (KPIs) específicos.

La mitigación de riesgos operativos en el Puesto de Control Central no puede depender exclusivamente de la memoria de los operadores o de la transmisión verbal de directrices. Según Hopkin (2018), la gestión de riesgos madura no se limita a documentar la probabilidad de un evento adverso, sino que diseña la arquitectura organizacional para absorber el impacto del error humano mediante la estandarización operativa y el aprendizaje continuo. Por ello, resulta imperativo sustituir estas prácticas por barreras sistémicas que garanticen una operación predecible.

Bajo este precepto, el Modelo MMCI-PCC abandona los controles administrativos frágiles (tales como la simple socialización de manuales) y despliega mecanismos de contención directa, interviene directamente sobre las vulnerabilidades documentadas en el diagnóstico inicial y en la Matriz de Riesgos oficial de la EOMMT. Al materializar estas contramedidas, el modelo da cumplimiento simultáneo a los requisitos de tres estándares internacionales:

- ISO 9001:2015 (Gestión de Calidad): El modelo operativiza el "Pensamiento Basado en Riesgos". Se transita del cumplimiento de la Cláusula 6.1 (Identificación) hacia la ejecución estricta de la Cláusula 8.1 (Planificación y Control Operacional), garantizando que las desviaciones procedimentales posean contramedidas auditables (ISO, 2015).
- ISO 22163:2023 (Calidad Ferroviaria): Responde de manera directa a la exigencia de la Cláusula 8.8 (Gestión RAMS) y la Cláusula 7.2.1 (Competencias Suplementarias). La adopción de la metodología FRACAS y el entrenamiento en CRM satisfacen el imperativo sectorial de vigilar la confiabilidad del sistema y las habilidades no técnicas del operador (ISO, 2023).
- ISO 45001:2018 (Seguridad y Salud en el Trabajo): Al incorporar la medición de la fatiga mediante la Escala KSS y mitigar la saturación cognitiva mediante herramientas ergonómicas (QRH), el modelo aborda frontalmente los riesgos psicosociales y de carga mental. Esto da cumplimiento a la Cláusula 6.1.2.1 sobre la identificación de peligros vinculados a factores humanos y la organización del trabajo (ISO, 2018; Stanton et al., 2020).

A continuación, se expone la trazabilidad exacta de mitigación, contrastando los riesgos oficiales e identificados empíricamente con los niveles de defensa propuestos:

Tabla 12 Niveles de defensa propuestos para los riesgos de acuerdo con la matriz de riesgos de PCC

Riesgo / Desviación	Fuente	Control Actual (Reactivo/Débil)	Niveles del Modelo MMCI-PCC que lo mitigan	Mecanismo de Mitigación del Modelo	KPI de Control del Modelo
Estrategia operativa y de planificación no acorde con la demanda	Matriz de Riesgos EOMMT	Revisión periódica tradicional	Nivel 2: Estandarización / Nivel 4: Aprendizaje	Alineación de la planificación táctica mediante la aplicación de las Tarjetas QRH en la operación en tiempo real, retroalimentada estratégicamente por las Lecciones Aprendidas del sistema FRACAS.	TCTRE (Tiempo de Ciclo y Recuperación de Trenes)
Inadecuada gestión de un riesgo operacional	Matriz de Riesgos EOMMT	Socialización de reglamentos generales	Nivel 2: Estandarización / Nivel 3: Cognitivo / Nivel 4: Aprendizaje	Abordaje integral mediante el uso de Tarjetas QRH (para asegurar la respuesta estandarizada), la Escala KSS (para prevenir decisiones erradas bajo fatiga mental) y la consulta obligatoria del Repositorio Dinámico de Consignas Operativas (RDCO).	TAPO (Tasa de Adherencia al Procedimiento Operativo) y Nivel de Alerta KSS
Desacuerdo en la generación de recomendaciones	Matriz de Riesgos EOMMT	Criterio basado en la experiencia empírica del personal	Nivel 2: Estandarización / Nivel 4: Aprendizaje	Fundamentación de cualquier propuesta de mejora operativa en la evidencia histórica centralizada en el RDCO y contrastada con los lineamientos técnicos preestablecidos en el QRH.	Índice de Casi-Accidentes (Near-Miss Index) y TCTRE
Baja disponibilidad de trenes (Resultado de incidencias que alteran la flota liberada por la EPMMQ)	Matriz de Riesgos EOMMT (Hallazgo NCm3)	Ninguno (Declarado como No Conformidad)	Nivel 2: Estandarización / Nivel 4: Aprendizaje	Uso de Tarjetas QRH para agilizar la resolución temporal de la falla en vía (optimizando el tiempo de respuesta), y aplicación del FRACAS para investigar la causa raíz de la afectación operativa.	TCTRE (Tiempo de Ciclo y Recuperación de Trenes)
Falta de actualización de conocimientos sobre instrucciones recientes o resultados de reuniones	Identificación propia (Diagnóstico operativo - Capítulo 5)	Minutas de reunión / Transmisión verbal y correos	Nivel 2: Estandarización Operacional	Transformación de las minutas aisladas en un Repositorio Dinámico de Consignas Operativas (RDCO) vinculado al QRH, garantizando una actualización en tiempo real y eliminando la dependencia de la memoria del controlador.	TAPO (Tasa de Adherencia al Procedimiento Operativo)
Errores de maniobra y comunicación por factores humanos (Omisión, incomprensión, fatiga)	Identificación implícita (Evaluación ISO 45001 y diagnóstico de carga cognitiva)	Rotación básica y comunicación sin verificación forzada	Nivel 3: Cognitivo (Factor Humano)	Aplicación obligatoria de la disciplina en comunicaciones críticas (<i>Read-back</i>) y rotación preventiva de turnos basándose en el estado de alerta del personal.	TAPC (Adherencia al Protocolo de Radio) y Nivel de Alerta KSS

Fuente: Elaboración propia fundamentada en el SGI institucional, el diagnóstico de la situación actual y los indicadores propuestos en el MMCI-PCC

5.2.1 Nivel 1 (organizativo): Cultura de seguridad y Justicia

La primera barrera defensiva se establece a nivel directivo. Su objetivo es crear un entorno psicológicamente seguro que fomente la proactividad del controlador para reportar fallos antes de que se conviertan en incidentes mayores.

Metodología: Establecimiento de una política de "Cultura Justa" (Just Culture) que incentiva el reporte de errores y casi-accidentes sin represalias disciplinarias (siempre que no exista dolo o negligencia grave). (Caldwell et al., 2019) o (RSSB, 2018).

Herramientas: Sistema de Reporte Voluntario (para riesgos) y Auditorías de Turno.

- **KPI de Control: Índice de Casi-Accidentes (*Near-Miss Index*):**

Es un indicador reactivo/proactivo de seguridad operacional (Safety) que cuantifica la frecuencia con la que el personal del Puesto Central de Control (PCC) reporta voluntariamente eventos que tenían el potencial de causar un accidente, un daño a la infraestructura o una interrupción grave del servicio, pero que fueron interceptados a tiempo o no produjeron consecuencias.

Este indicador es el pulso de la cultura de seguridad. Un aumento en este índice en los primeros meses no significa que la operación sea más insegura, sino que el personal ha perdido el miedo a reportar (cultura justa), permitiendo aplicar acciones correctivas tempranas.

- **Justificación:** En el marco de la Norma ISO 22163 y la norma EN 50126 (RAMS ferroviario), el fomento de una "Cultura Justa" (Just Culture) requiere que los operadores se sientan psicológicamente seguros para reportar incidentes sin temor a represalias punitivas. Medir la tasa de reporte de casi-accidentes no refleja que el sistema sea inseguro, sino que existe madurez organizacional y confianza hacia la gestión de la seguridad, permitiendo a la organización aprender de las fallas del sistema antes de que se materialicen en un accidente real.
- **Fuente de Datos:** Formulario web interno anónimo o buzón físico en sala (Ver Anexo 2)

$$\text{Índice de Casi Accidentes ICA (\%)} = \frac{N^{\circ} \text{ de Casi - Accidentes reportados}}{N^{\circ} \text{ total de turnos en el periodo evaluado}} \times 100$$

- **Meta:** incrementar en un 20% la tasa histórica de reportes voluntarios durante el primer semestre de implementación. Este incremento esperado se considera

positivo durante la fase de maduración cultural; posteriormente, en una fase de estabilización, la métrica deberá enfocarse en la calidad del reporte y en la reducción de la incidencia real.

- **KPI: Tasa de No Conformidades Administrativas/Operativas (TNCA)**

Es un indicador de calidad y disciplina operativa que mide el porcentaje de desviaciones menores o incumplimientos de requisitos documentales dentro del PCC (por ejemplo: omisiones en la firma de bitácoras, errores de llenado en formatos, retrasos en relevos, o desviaciones en los protocolos de indumentaria/uniforme) con respecto al total de la carga operativa.

- **Justificación:** Según la ISO 9001:2015 (Cláusulas 9 y 10), una "No Conformidad" se define como el incumplimiento de un requisito. En un entorno de misión crítica como el PCC, las desviaciones administrativas crónicas pueden ser precursoras de fallas operativas mayores. Al formular este indicador en función de los "turnos operados" y no por "controlador individual", se despersonaliza la falta, evitando un enfoque punitivo y fomentando que el supervisor de turno asuma el liderazgo en la corrección de los procesos del equipo. Esto permite atacar la disciplina operativa (Quality) bajo el ciclo PHVA sin dañar la confianza lograda en los reportes de seguridad.
- **Fuente de Datos:** Informes de los supervisores de turno, reportes de controladores en la entrega-recepción de guardia, hallazgos de inspecciones de calidad de rutina.
- **Fórmula:**

$$TNCA (\%) = \frac{\text{Total de No Conformidades menores detectadas en el periodo}}{\text{Total de turnos operados en el periodo evaluado}} \times 100$$

- **Meta:** La meta es la reducción continua hasta alcanzar un umbral de tolerancia aceptable definido por la organización (por ejemplo, $TNCA \leq 5\%$ de los turnos con observaciones). Además, se debe medir el tiempo promedio de cierre de las acciones correctivas derivadas.

5.2.2 Nivel 2 (Técnico): Estandarización Operacional

Esta segunda capa de defensa del modelo MMCI-PCC constituye la barrera procedimental y de estandarización del sistema. Su arquitectura está alineada directamente al cumplimiento de la Cláusula 8.1 (Planificación y control operacional) y la Cláusula 7.5

(Información documentada) de la norma ISO 9001:2015, así como a los rigurosos requisitos de control de producción exigidos por la normativa ferroviaria ISO 22163.

El objetivo fundamental de este nivel es mitigar la dependencia exclusiva de la memoria y la pericia individual del factor humano frente al estrés operativo. Basándose en los hallazgos del diagnóstico, los cuales evidenciaron una alta dispersión en los tiempos de resolución de incidencias (MTTR) y vacíos críticos en la transmisión de disposiciones durante los relevos de turno, esta capa busca estandarizar el "saber hacer" (know-how) de la organización.

Metodología: Control Operacional Visual y Gestión Documental Ágil.

Herramientas: Para materializar esta defensa técnica y dotar al Puesto Central de Control (PCC) de herramientas ergonómicas de acceso inmediato, el nivel se estructura mediante la implementación conjunta de dos mecanismos tácticos complementarios: el Quick Reference Handbook (QRH), diseñado para guiar la toma de decisiones estandarizadas durante emergencias; y el Repositorio Dinámico de Consignas Operativas (RDCO), enfocado en asegurar la trazabilidad y comprensión de las restricciones temporales del sistema antes de que el controlador asuma su consola.

Herramienta A: Quick Reference Handbook (QRH)

Además de la comunicación, el diagnóstico de riesgos evidenció que la mitigación de eventos extremos depende de la memoria del controlador para recordar procedimientos extensos. Para resolver esto, el MMCI-PCC propone la implementación de un Quick Reference Handbook (QRH). Metodológicamente, se basa en los principios de la ergonomía cognitiva documental, los cuales establecen que durante situaciones de emergencia, la capacidad del ser humano para recuperar información compleja de la memoria a largo plazo disminuye drásticamente debido a la carga de estrés (Wickens et al., 2015).

Por tanto, el QRH transforma los extensos procedimientos operativos estándar que son difíciles de consultar bajo presión en tarjetas de acción (Action Cards) condensadas (Ver Anexo 3), visuales y estructuradas en diagramas de flujo lógicos de tipo "Sí/No" o "Condición/Acción". Esta información estará disponible de forma inmediata (física o en acceso rápido digital) para cada operador, reduciendo la carga cognitiva de buscar en manuales extensos durante una emergencia.

Bajo el marco del Sistema de Gestión de Calidad, el QRH da cumplimiento directo a la Cláusula 7.5.1 (Información documentada requerida) y 7.5.3 (Control de la información documentada) de la ISO 9001.

- **KPI: Tasa de Adherencia al Procedimiento Operativo (TAPO):**

Evalúa, mediante revisión posterior de bitácoras, si los pasos críticos del checklist fueron ejecutados correctamente durante una incidencia.

- **Fuente de datos:** Esto se registrará por evento en el *Registro de Adherencia a QHR (Por Evento)*, ver Anexo 4.
- **Fórmula:**

$$TAPO = \frac{\text{Total de incidencias resueltas siguiendo el flujo exacto del QRH}}{\text{Total de incidencias auditadas que requerían uso de QRH}} \times 100$$

- **Meta:** La meta de madurez operacional debe ser $\geq 95\%$. Un índice inferior al 80% es un indicador de alerta temprana que señala un rechazo cultural a la herramienta, fatiga cognitiva severa, o que las *Action Cards* están mal diseñadas y requieren revisión ergonómica inmediata.

Herramienta B: Repositorio Dinámico de Consignas Operativas (RDCO)

Metodológicamente, se sustenta en la teoría de la Conciencia Situacional (Situation Awareness) de Endsley y Jones (2011), la cual postula que, en sistemas de control continuo (24/7), la pérdida de información en la transferencia de guardia es uno de los precursores de fallas latentes más críticos. El RDCO elimina la dependencia de la tradición oral y los correos electrónicos aislados, estableciendo un canal único, centralizado y de lectura obligatoria para gestionar todas las restricciones temporales del sistema garantizando que el personal que retorna de días libres tenga una toma de contacto digital trazable antes de asumir el puesto.

Justificación Normativa:

- ISO 9001:2015, Cláusula 7.1.6 (Conocimientos de la organización): Exige que la organización mantenga el conocimiento necesario para la operación y lo ponga a disposición.
- ISO 9001:2015, Cláusula 7.5.3 (Control de la información documentada): Exige que la información esté disponible y sea idónea para su uso donde y cuando se necesite.

- ISO 22163:2023, Cláusula 7.3 (Toma de conciencia): Asegurar que el personal conozca las implicaciones de desviarse de las instrucciones.
- ISO 9001:2015 Cláusula 8.5.6 (Control de los cambios): Al asegurar que la organización "conserve información documentada que describa los resultados de la revisión de los cambios, las personas que autorizan el cambio y cualquier acción necesaria". Además, satisface los requerimientos de la ISO 22163 (IRIS) referentes a la trazabilidad de la configuración segura de la infraestructura antes de la expedición de trenes.
- **KPI: Tasa de Difusión de Consignas Operativas (TDCO)**

Es un indicador de eficacia en la comunicación interna que mide el porcentaje de cobertura y acuse de recibo (confirmación de lectura y comprensión) de las disposiciones, restricciones temporales y consignas vigentes canalizadas a través del Registro de Difusión de Consignas Operativas (RDCO) hacia el personal del Puesto Central de Control (PCC).

- **Justificación:** Las normas ISO 9001:2015 (cláusulas 7.4 "Comunicación" y 8.5.6 "Control de los cambios") e ISO 22163 exigen que los cambios en los requisitos operativos sean comunicados de manera efectiva al personal pertinente. En la operación ferroviaria, el desconocimiento de una restricción temporal (por ejemplo, un límite de velocidad por trabajos en vía) constituye un riesgo crítico de seguridad. El TDCO garantiza que el RDCO no opere como un repositorio pasivo de documentos, sino como un sistema activo, asegurando que los controladores y supervisores asimilen las instrucciones antes de asumir sus consolas en cada relevo de turno.
- **Fuente de Datos:** Registro de Difusión de Consignas Operativas (RDCO), bitácoras de relevo de turno, o registros de firmas (físicas o electrónicas) de las reuniones de *briefing* diario.
- **Fórmula:**

$$TDCO (\%) = \frac{\text{Total de confirmaciones de lectura registradas}}{\text{Total de confirmaciones esperadas (Consignas vigentes} \times \text{Personal objetivo)}} \times 100$$

(Nota de aplicación: Si por ejemplo se emiten 2 consignas nuevas y hay 27 controladores que deben conocerlas en sus respectivos turnos, el total de confirmaciones esperadas es 54).

- **Meta:** La meta es un cumplimiento estricto del 100%. Debido a la naturaleza crítica de las operaciones ferroviarias, el nivel de tolerancia para la falta de comunicación de una consigna operativa es cero. Cualquier resultado inferior al 100% debe ser tratado automáticamente como una No Conformidad que requiere acción inmediata.

5.2.3 Nivel 3 (Cognitivo): Factor Humano y Táctico

Es la barrera activa en tiempo real. Se enfoca en el individuo frente a la consola, mitigando la pérdida de conciencia situacional, la ambigüedad oral y la somnolencia (Flin et al., 2008; Caldwell et al., 2019). Busca reducir la dependencia exclusiva de la memoria humana frente a eventos críticos, asegurando que las directrices de la ISO 9001 (cláusula 8.1 sobre control operacional) se materialicen en herramientas ágiles y funcionales para el entorno del PCC (Camisón et al., 2011).

Metodologías: Entrenamiento CRM Ferroviario (Habilidades no técnicas) y FRMS (Gestión de Riesgo por Fatiga).

Específicamente, se ataca la "pérdida de conciencia situacional" y la comunicación inefectiva, causantes del 70% de los incidentes en centros de control según la UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles). La implementación consiste en el entrenamiento Crew Resource Management (CRM), enfocado en la comunicación de "bucle cerrado" (Communication Loops) y la gestión de riesgo por fatiga. La evidencia sugiere que los operadores entrenados en CRM reducen los errores de decisión bajo estrés en un 40% comparado con personal no entrenado (Rhona & Flin, 2004). En coherencia con la norma ISO 45001, se integra un FRMS simplificado. La principal herramienta de este sistema es la aplicación de la Escala de Somnolencia de Karolinska (KSS), mediante la cual los controladores realizan una autoevaluación rápida de su nivel de alerta durante los turnos nocturnos, permitiendo al Supervisor tomar medidas tácticas (rotación, pausas) antes de que la fatiga induzca al error.

5.2.3.1 Herramienta A: Protocolo de comunicación estandarizado

La ambigüedad en la comunicación oral es una amenaza crítica. El modelo acentúa y mide la importancia del cumplimiento del "Protocolo de comunicaciones", que está reglamentado e implementado, pero que no ha sido seguido con ningún método. Una auditoría del protocolo de comunicaciones que obliga a seguir la estructura, utilizando fraseología estándar y evitando ambigüedades (RSSB, 2018).

- **KPI asociado: Tasa de Adherencia al Protocolo de Comunicaciones (TAPC):**

Porcentaje de comunicaciones que cumplen con los 4 pasos del protocolo de comunicaciones (Apertura, Mensaje, Repetición, Cierre). Evaluado mediante un *checklist* binario (Cumple/No Cumple) (RSSB, 2018).

- **Fórmula:**

$$TAPC = \frac{\text{Número de comunicaciones conformes}}{\text{Total Comunicaciones Auditadas}} \times 100$$

- **Meta:** > 95% en operaciones normales y > 90% en emergencias.
- **Fuente de Datos:** Auditoría semanal de 20 llamadas aleatorias del grabador de voz.

5.2.3.2 Herramienta B: Escala de Somnolencia Karolinska

Utilizando la Escala de Somnolencia de Karolinska (KSS), se mide el nivel de fatiga auto-reportado por los controladores antes y durante los turnos de alta exigencia. Permite al Supervisor (SOP) tomar decisiones tácticas inmediatas (ej. rotación de puesto, pausas activas) si un controlador reporta un nivel KSS superior a 7. Esta herramienta da cumplimiento a la Cláusula 8.1.2 de la ISO 45001 sobre la eliminación de peligros y reducción de riesgos para la seguridad y salud ocupacional, mitigando la fatiga como factor de riesgo laboral.

Se realiza mediante el 'Registro de Autoevaluación de Riesgo por Fatiga', un formato físico o digital integrado al SGI.

5.2.4 Nivel 4 (Aprendizaje Operacional): Contención y Mejora Continua

Este nivel actúa como la última barrera de defensa y el motor del ciclo PHVA. Su objetivo no es prevenir el error humano en tiempo real, sino garantizar que la organización analice las fallas, aprenda de ellas y se recupere en el menor tiempo posible. La principal metodología en este nivel es el sistema FRACAS, el cual se nutre directamente de los tiempos de respuesta del PCC (ISO 22163 Cl. 8.8).

Metodología: Sistema FRACAS adaptado e Ingeniería RAMS.

5.2.4.1 Fase de Contención (Corto Plazo):

Se mide con el TCTRE mide el lapso transcurrido desde la detección de una incidencia crítica hasta el restablecimiento de la operación comercial normal. Cuantifica el impacto directo de las Action Cards y el CRM en la reducción de los tiempos de respuesta de PCC (Birolini, 2017).

Adicionalmente, la reducción del TCTRE es el mecanismo operativo mediante el cual el PCC contribuye directamente al cumplimiento de la norma UNE-EN 13816. Al minimizar el tiempo de resolución de una emergencia, se protege el criterio de 'Tiempo' (puntualidad y regularidad) exigido por esta norma (Macário, 2015).

Fórmula:

$$TCTRE (\%) = \frac{\text{Número de incidencias resueltas dentro del tiempo meta}}{\text{Total de incidencias presentadas en el periodo}} \times 100$$

Meta: llegar al 90% o 95%.

Tabla 13 Tiempo de meta propuesto

Categoría Operativa	Promedio Actual	Mediana (P50)	Percentil 75 (P75)	Tiempo Meta Propuesto (Estándar)
Fallas de Material Rodante	2.98 min	1.0 min	5.0 min	≤ 4.0 minutos
Errores Operativos (Maniobra)	4.36 min	4.0 min	4.7 min	≤ 5.0 minutos
Telecomunicaciones y Sistemas	6.89 min	7.0 min	9.0 min	≤ 7.0 minutos
Señalización y Control (ATC/ATP)	7.30 min	5.0 min	8.0 min	≤ 8.0 minutos

El "Tiempo Meta" se ha fijado ligeramente por encima del promedio, pero obligando a los supervisores a alcanzar la eficiencia del Percentil 75 (cálculos ver el Anexo 5) .

5.2.4.2 Fase de Mejora y Aprendizaje (Largo Plazo):

Se mide con el TPCAC. Evalúa el análisis post-incidente; es decir, qué tan eficiente es la organización para investigar la causa raíz de esa emergencia, proponer acciones correctivas y cerrarlas a tiempo para garantizar que el error no se repita.

Para dar cumplimiento a la cláusula 8.8 de la ISO 22163 y al requisito 10.2 de la ISO 9001, el modelo utiliza la metodología FRACAS (Failure Reporting, Analysis, and Corrective Action System) adaptado al PCC para registrar fallos operativos y humanos, analizar causas raíz y definir acciones correctivas y preventivas con seguimiento periódico (Birolini, 2017). Esta metodología estructurará el tratamiento de incidencias operativas en cuatro fases obligatorias:

1. Reporte: Digitalización del evento en el formato FRACAS (Ver Anexo 6)
2. Análisis: Uso del diagrama de Ishikawa rápido para tipificar si el fallo fue técnico o humano.
3. Acción Correctiva (Corrective Action): Generación de una medida concreta (ej. modificar un procedimiento).
4. Cierre: Verificación de la no recurrencia a los 30 días, cerrando el ciclo PHVA.

- **KPI: Tiempo Promedio de Cierre de Acciones Correctivas (TPCAC)**

Es un indicador de eficiencia del Sistema de Gestión de Calidad (SGC) que mide la cantidad promedio de días naturales (o hábiles) que transcurren desde la apertura de una No Conformidad (o el reporte de un hallazgo) hasta el cierre efectivo de la Acción Correctiva asociada, el cual solo se da tras verificar la eficacia de la solución implementada.

- **Justificación:** El simple registro de desviaciones o casi-accidentes no genera valor si la organización no las resuelve oportunamente. Las normas ISO 9001 e ISO 22163 (Cláusula 10.2 - No conformidad y acción correctiva) exigen que la organización reaccione ante las fallas y evalúe la necesidad de acciones para eliminar las causas raíz. Medir este tiempo permite evaluar la agilidad organizativa del Puesto Central de Control (PCC) para mitigar riesgos, evitando la acumulación de problemas crónicos (burocracia) y garantizando un entorno de mejora continua dinámica.
- **Fuente de Datos:** bitácoras de seguimiento de No Conformidades TNCA, o el sistema FRACAS (Sistema de Reporte de Fallas, Análisis y Acción Correctiva) del SGI.
- **Fórmula:**

$$TPCAC \text{ (días)} = \frac{\sum (\text{Fecha de Cierre Efectivo} - \text{Fecha de Apertura de la NC})}{\text{Total de Acciones Correctivas cerradas en el periodo evaluado}}$$

(El resultado se expresa en días)

- **Meta:** La meta es mantener el TPCAC por debajo de los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) internos definidos por la gravedad del hallazgo. Por ejemplo: asegurar que el 100% de las No Conformidades mayores se cierren en ≤ 15 días, y las menores en ≤ 30 días. Una tendencia a la baja indica un sistema de gestión altamente reactivo y maduro.

5.3 Cuadro de Mando Operativo (Dashboard MMCI-PCC)

Para evaluar la eficacia del Modelo de Mejora Continua Integrado (MMCI-PCC) y asegurar el cumplimiento de la Cláusula 9.1 de la ISO 22163 (relativa al seguimiento, medición, análisis y evaluación), se propone consolidar las métricas en una única herramienta de visualización ejecutiva: un Cuadro de Mando Operativo.

Para hacer tangibles estos efectos, el modelo establece metas cuantitativas estructuradas bajo el ciclo de Deming (PHVA), fijando umbrales de desempeño para el primer semestre de implementación:

- Cultura y Liderazgo (Near Miss / TNCA): Se proyecta un incremento sostenido en el reporte voluntario de prevención, acompañado de una reducción sistemática de las no conformidades operativas.
- Estandarización y Trazabilidad (TAPO / TDCO): Se exige un control absoluto de la información documentada, buscando un 100% de cobertura en la difusión de consignas y una estricta ejecución del Quick Reference Handbook (QRH).
- Confiabilidad Humana (TAPC / KSS): Se establece como meta innegociable alcanzar un mínimo del 95% en la disciplina del protocolo de comunicaciones (Read-back) y la mitigación proactiva del riesgo por fatiga.
- Resiliencia y Mejora Continua (TCTRE / TPCAC): Se persigue la optimización de los tiempos de recuperación de trenes para proteger el servicio al pasajero (UNE-EN 13816), garantizando el cierre eficaz de las acciones correctivas sistémicas (FRACAS).

A continuación, la Tabla 14 presenta la matriz multidimensional del Cuadro de Mando Operativo. Esta estructura evidencia la trazabilidad exacta del modelo: partiendo desde la fase del ciclo PHVA y la exigencia normativa internacional, descendiendo a través de la arquitectura de defensa en profundidad, hasta llegar a la herramienta táctica y su meta de desempeño en sitio.

Tabla 14 Cuadro de Mando Operativo propuesto para el Puesto de Control Central

PHVA	Nivel de Defensa	Requisito Normativo Base	Metodología Aplicada	Herramienta Operativa	KPI de Control	Objetivo de la Medición	Frecuencia	Meta de Desempeño
P	Nivel 1: Organizativo (Cultura)	ISO 22163: Política de Seguridad. ISO 9001: Cláusula 5 (Liderazgo).	Cultura Justa (<i>Just Culture</i>)	Sistema de Reporte Voluntario	Near-Miss Index (Índice de Casi-Accidentes)	Fomentar el reporte proactivo de vulnerabilidades sin temor a represalias.	Mensual	+20% de reportes durante el primer semestre.
	Nivel 1: Organizativo (Disciplina)	ISO 9001: Cláusula 9 (Evaluación) y 10 (Mejora).	Auditoría de Calidad Interna	Inspecciones de Turno y Bitácoras	TNCA (Tasa de No Conformidades Administrativas)	Medir y corregir desviaciones documentales y disciplinarias menores en el equipo.	Mensual	Tendencia a la baja ($\leq 5\%$ de los turnos).
H	Nivel 2: Técnico (Estandarización)	ISO 9001: Cl. 8.1 (Control Operacional) y	Ergonomía Cognitiva /	Quick Reference	TAPO (Tasa de Adherencia al Procedimiento)	Asegurar la ejecución estandarizada	Post Incidente	$\geq 95\%$ de adherencia al checklist.

PHVA	Nivel de Defensa	Requisito Normativo Base	Metodología Aplicada	Herramienta Operativa	KPI de Control	Objetivo de la Medición	Frecuencia	Meta de Desempeño
		7.5 (Información Documentada).	Control Visual	Handbook (QRH)		de pasos críticos, reduciendo la carga de memoria.		
	Nivel 2: Técnico (Trazabilidad)	ISO 9001: Cl. 7.1.6 (Conocimiento) y 8.5.6 (Control de Cambios).	Gestión Documental Ágil	Repositorio Dinámico de Consignas (RDCO)	TDCO (Tasa de Difusión de Consignas Operativas)	Garantizar la asimilación de directrices temporales por todo el personal en el relevo.	Semanal / Relevos	100% de acuses de recibo.
	Nivel 3: Cognitivo (Táctico)	ISO 9001: Cl. 8.1 ISO 22163: Competencia y toma de conciencia.	Crew Resource Management (CRM)	Protocolo de Comunicación TETRA	TAPC (Tasa de Adherencia al Protocolo de Com.)	Evitar la ambigüedad oral mediante comunicación en bucle cerrado (Read-back).	Semanal (Auditoría)	> 95% (Normal) > 90% (Emergencia)
	Nivel 3: Cognitivo (Táctico)	ISO 45001: Cl. 8.1.2 (Reducción de riesgos SSO).	Fatigue Risk Mgt. System (FRMS)	Escala de Somnolencia Karolinska (KSS)	Autoevaluación KSS (Alerta Temprana)	Prevenir el error humano tomando acciones tácticas antes de la pérdida de alerta.	Diaria (Turnos nocturnos)	Intervención inmediata si KSS > 7.
V	Nivel 4: Aprendizaje (Contención)	UNE-EN 13816: Criterio de Tiempo. ISO 22163: Cl. 8.8 (Confiabilidad RAMS).	Ingeniería de Confiabilidad (RAMS)	SCADA e Informes Diarios (IDO)	TCTRE (Tiempo de Ciclo de Tratamiento y Recuperación)	Cuantificar la agilidad global del sistema para restablecer el servicio comercial.	Mensual	Cumplimiento $\geq 90\%$ de Tiempos Meta.
A	Nivel 4: Aprendizaje (Mejora)	ISO 9001: Cláusula 10.2 (Acción Correctiva). ISO 22163: FRACAS.	Metodología FRACAS Adaptada	Formato FRACAS e Ishikawa	TPCAC (Tasa de Cierre de Acciones Correctivas)	Evaluar la eficacia de la organización para eliminar la causa raíz de las fallas.	Trimestral	Cierre del 100% dentro de su plazo SLA.

5.4 Plan de implementación del modelo

El despliegue del Modelo de Mejora Continua Integrado (MMCI-PCC) no requiere la paralización de las operaciones ni la adquisición de plataformas de software costosas. Su diseño sociotécnico permite una implementación progresiva y escalable en la Sala de Control, utilizando la infraestructura tecnológica existente del Sistema de Gestión Integrado (SGI) de la EOMMT.

A continuación, se detallan los componentes operativos para su ejecución en un periodo piloto de seis meses. El despliegue del MMCI-PCC se estructura en cuatro fases, alineadas con el ciclo PHVA: las Fases 1 y 2 corresponden a la etapa Planificar, la Fase 3 a la etapa Hacer, y la Fase 4 integra las etapas Verificar y Actuar.

Para mitigar el riesgo intrínseco de rechazo al cambio por parte de los controladores y supervisores, el despliegue se ha planificado para ejecutarse a lo largo de un semestre piloto (24 semanas). La secuencia metodológica de las actividades refleja fielmente el ciclo de Deming (PHVA), transitando desde el compromiso inicial de la gerencia hasta la estandarización final de las nuevas normativas. A continuación, la Tabla 15 detalla las fases operativas de ejecución.

Tabla 15 Estructura y fases de Implementación del MMCI-PCC

Fase de Ejecución	Etapas SGI (PHVA)	Semanas	Actividades Operativas Clave y Entregables
Fase 1: Preparación y Compromiso Directivo	Planificar (P)	Semanas 1 – 4	- Reunión de apertura (Kick-off) con la Gerencia de Operaciones para asegurar el patrocinio del proyecto. - Designación formal del líder de proyecto y conformación del Comité de Mejora del PCC. - Definición de los objetivos específicos, alcance y asignación de recursos internos del SGI.
Fase 2: Diseño y Producción de Herramientas	Planificar / Hacer (P/H)	Semanas 5 – 8	- Levantamiento de información y redacción técnica de los 12 procedimientos críticos priorizados para convertirlos en Action Cards (QRH). - Diseño ergonómico, revisión por Calidad (QHSE) e impresión laminada de las tarjetas QRH. - Parametrización de la base de datos (SharePoint/Excel) para iniciar el registro de la metodología FRACAS. - Diseño de formatos de auditoría para la Escala KSS y la Tasa de Adherencia al Protocolo de Comunicaciones (TAPC).
Fase 3: Entrenamiento y Marcha Blanca	Hacer (H)	Semanas 9 – 16	- Ejecución de los Módulos de Formación Especializada (CRM, Prevención de Fatiga y Metodología FRACAS) para todo el personal operativo. - Entrega oficial e instalación física de los QRH en cada consola de la Sala de Control. - Implementación formal del Repositorio Dinámico de Consignas Operativas (RDCO) en los briefings de relevo. - Inicio de las auditorías aleatorias de grabaciones de voz (Sistema TETRA) para medir el indicador TAPC.
Fase 4: Evaluación, Ajuste y Formalización	Verificar / Actuar (V/A)	Semanas 17 – 24	- Primera Revisión por la Dirección para analizar los resultados iniciales de los KPI's operativos (TCTRE, TAPC, TDCO y KSS). - Recopilación de retroalimentación directa de los operadores para ejecutar ajustes ergonómicos en las herramientas de control visual. - Cierre exitoso de la etapa piloto y formalización definitiva de las herramientas del modelo dentro del Manual de Calidad y Procesos (ISO 9001) de la EOMMT S.A.S.

Fuente: Elaboración propia, basado en los lineamientos del ciclo PHVA (ISO 9001:2015).

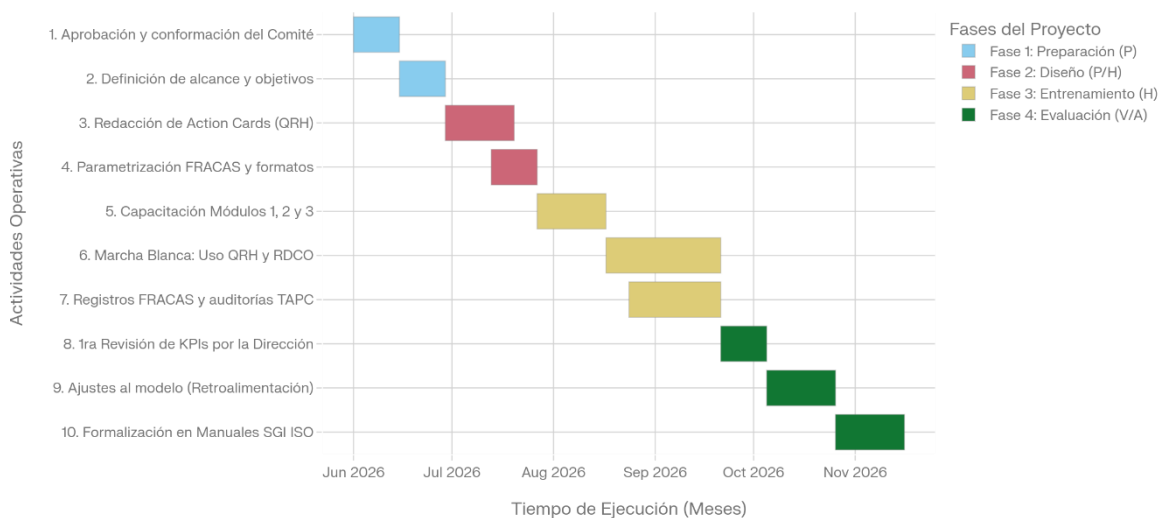


Figura 8. Cronograma de implementación del MMCI-PCC
Fuente: Elaboración propia

5.4.1 Recursos

El plan aprovecha principalmente recursos existentes: personal del PCC con experiencia operativa, apoyo del área de Calidad y de Seguridad y Salud para la componente de factores humanos y la infraestructura tecnológica ya disponible, por lo que no requiere inversiones significativas en hardware en la fase inicial (ISO, 2015; Salvendy, 2012).

Recursos humanos (Para la metodología CRM y TAPC):

Equipo base: El despliegue requiere el involucramiento directo de la Gerencia del PCC (como patrocinador), el Departamento de Calidad QHSE (para la validación documental) y los Supervisores de Operación (SOP), quienes actuarán como monitores de la implementación en los diferentes turnos.

No se requiere contratación de nuevo personal, se designará a uno de los integrantes del equipo como “Facilitador Interno de Calidad”, quien será el encargado de la capacitación CRM y FRACAS.

Recursos tecnológicos (Para FRACAS y QRH):

Para el QRH: Herramientas ofimáticas para la diagramación de las Action Cards. Material de papelería especializada (impresión a color y laminado)

Para FRACAS: En la fase inicial, no se requiere la compra de software especializado RAMS. Se utilizará una base de datos relacional (SharePoint/Excel) gestionada por el Jefe de Proyecto, que centralice la información y permita el seguimiento de las acciones correctivas.

Recursos Financieros:

El costo directo del proyecto es marginal, limitándose a la producción física de los manuales de referencia rápida (QRH) —impresión a color y laminado— y a las horas-hombre de capacitación. Estas se estiman en un máximo de 6 horas por colaborador distribuidas en tres módulos, y serán absorbidas dentro del presupuesto operativo anual de la Dirección de Operaciones. No se requiere inversión en hardware ni licencias de software en la fase piloto, lo que garantiza la replicabilidad del modelo en otros centros de control similares.

5.4.2 Plan de Formación Especializada

Para superar la barrera del "Factor Humano", se establece un plan de capacitación intensivo enfocado en competencias no técnicas y análisis de confiabilidad, dividido en tres módulos fundamentales:

- **Módulo 1 CRM y Gestión de Fatiga (2 horas):** Entrenamiento en Crew Resource Management, conciencia situacional y comunicación en bucle cerrado. Incluye la autoevaluación de fatiga mediante la Escala KSS y el protocolo de intervención del Supervisor ante niveles de alerta críticos.
- **Módulo 2 Estandarización y TAPC (2 horas):** Revisión del Protocolo de Comunicaciones TETRA, uso estandarizado de las Tarjetas de Acción Rápida (QRH) y presentación oficial del RDCO como herramienta de briefing de turno.
- **Módulo 3 Confiabilidad y Metodología FRACAS (2 horas):** Diferencia entre reporte reactivo y análisis de causa raíz. Talleres prácticos con los "5 Porqués" y el diagrama de Ishikawa aplicado a incidentes reales del PCC. Introduce la cultura justa como pilar del reporte voluntario.

6 DISCUSIÓN

El análisis exhaustivo de la situación actual del Puesto de Control Central (PCC) puso de manifiesto que, si bien la empresa operadora ha logrado cimentar un Sistema de Gestión Integrado (SGI) operativo bajo los lineamientos de la norma ISO 9001:2015, su arquitectura funciona predominantemente como una bitácora de registro pasivo, careciendo de la proactividad necesaria para garantizar la confiabilidad. Esta vulnerabilidad se hizo evidente al escrutar la Matriz de Riesgos del área, en la cual amenazas catalogadas como "Extremas" dependen casi exclusivamente de controles administrativos débiles, tales como la "socialización de manuales" o la exigencia de "apegarse al reglamento".

Desde la óptica de la ergonomía y los factores humanos, delegar el peso íntegro de la seguridad en la capacidad mnemotécnica del controlador frente a un escenario crítico representa un fallo sistémico. La literatura especializada advierte que, en salas de mando de alta complejidad, la sobrecarga cognitiva deteriora de manera abrupta la memoria de trabajo, volviendo inoperantes a los manuales documentales tradicionales durante una emergencia (Salvendy, 2012). De forma paralela, la no conformidad detectada en la auditoría interna (NCm3) corrobora que el SGI vigente cumple con el requisito de identificar el peligro (Cláusula 6.1 de la ISO 9001), pero adolece de mecanismos estructurados y formales para mitigarlo (ISO, 2015). Estos hallazgos fundamentan la urgencia de transitar hacia un ecosistema gerencial que moldee la conducta del operador mediante soportes visuales ágiles.

Para solventar estas deficiencias, el Modelo de Mejora Continua Integrado (MMCI-PCC) emerge como el puente metodológico entre la gestión de calidad ortodoxa y la ingeniería de confiabilidad ferroviaria. En este sentido, la propuesta alcanza una sinergia normativa de triple impacto. Mientras la ISO 9001 certifica el control documental de los procesos del PCC, y la ISO 22163 inyecta la severidad de la ingeniería RAMS para la prevención de fallos, la normativa UNE-EN 13816 le otorga el propósito final a la arquitectura: asegurar la excelencia del servicio de cara al usuario. El diagnóstico demostró que las demoras operativas penalizan drásticamente la calidad percibida; por consiguiente, al proveer a la sala de control de herramientas como las Tarjetas QRH y el entrenamiento en habilidades no técnicas (CRM), el modelo actúa como el núcleo técnico indispensable para sostener los compromisos de regularidad que exige el estándar europeo de transporte de pasajeros.

El diseño propuesto transforma las rutinas administrativas en auténticas barreras de contención conductual. Por ejemplo, la integración del Crew Resource Management (CRM) y el control de la alerta mental mediante la Escala KSS convierten las tradicionales reuniones de inicio de jornada en filtros de seguridad en bucle cerrado (Caldwell et al., 2019; Flin et al., 2008). Asimismo, aunque los relevos de turno constituyen el canal primario de transmisión de información, la incesante volatilidad de las directrices en el Metro de Quito demanda una fuente única de verdad. La concepción del Repositorio Dinámico de Consignas Operativas (RDCO) suprime el riesgo de obsolescencia del conocimiento en el personal que retorna de periodos de descanso, garantizando la actualización táctica en tiempo real.

De igual manera, el reemplazo de textos procedimentales extensos por Tarjetas de Acción Rápida (QRH) responde directamente a la exigencia de mantener el control operacional bajo niveles extremos de estrés. Al acoplar simultáneamente la metodología FRACAS, se

garantiza que el aprendizaje institucional evolucione de la simple memoria colectiva hacia un ciclo de mejora PHVA riguroso, subsanando definitivamente la ausencia de mitigación observada en la auditoría (Birolini, 2017).

Finalmente, uno de los aportes más disruptivos de la investigación es la reingeniería del sistema de métricas del PCC. Históricamente, la explotación ferroviaria ha evaluado su desempeño mediante indicadores forenses o reactivos, como la sumatoria de minutos de retraso en los informes diarios. El MMCI-PCC desafía este dogma al incorporar KPI's de adherencia preventiva. La adopción de la Tasa de Adherencia al Protocolo de Comunicaciones (TAPC) y la Tasa de Adherencia al Procedimiento Operativo (TAPO) faculta a la jefatura para auditar y corregir la indisciplina táctica mucho antes de que esta desencadene un evento adverso (RSSB, 2018).

En esta misma línea, la instauración del Índice de Reporte de Casi-Accidentes (Near-Miss Index) marca un punto de inflexión en la cultura organizacional de la EOMMT, impulsando la transición de un entorno punitivo hacia una "Cultura Justa", condición sine qua non para alimentar la base analítica del sistema FRACAS. Como corolario, el Tiempo de Ciclo y Recuperación de Trenes (TCTRE) se erige como el indicador reactivo maestro; una métrica que demostrará empíricamente si la conjunción de las herramientas sociotécnicas (QRH y CRM) logró minimizar el lapso de interrupción de la vía, maximizando en consecuencia la calidad del servicio experimentada por el viajero (Macário, 2015). Complementariamente, el Tiempo Promedio de Cierre de Acciones Correctivas (TPCAC) garantiza que el ciclo PHVA se cierre completamente: no basta con medir la velocidad de recuperación si las causas raíz no se eliminan de forma sistémica.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

El diagnóstico de la situación actual del Puesto de Control Central (PCC), realizado a través de los Informes Diarios de Operación y las auditorías internas (diciembre 2023 - febrero 2026), demostró que la gestión operativa es principalmente reactiva. Se evidenció que el sistema basado únicamente en la norma ISO 9001 no cuenta con herramientas suficientes para manejar el estrés y la carga mental de los controladores, lo que hace necesario adoptar un enfoque centrado en la confiabilidad y el factor humano para prevenir errores.

Se logró diseñar el Modelo de Mejora Continua Integrado (MMCI-PCC) estructurado en los cuatro niveles de la Defensa en Profundidad: organizativo, técnico, cognitivo y de aprendizaje. Gracias a esta estructura, fue posible definir herramientas prácticas para cada

nivel, como las Tarjetas de Acción Rápida (QRH), el Repositorio de Consignas y la metodología de reporte FRACAS. Estas herramientas conforman un sistema capaz de apoyar al operador y prevenir fallos antes de que afecten el servicio comercial.

Se estructuró un Cuadro de Mando Operativo (Dashboard) que cambia la forma en que el PCC mide su desempeño en cumplimiento de la Cláusula 9.1 de la ISO 9001 e ISO 22163, que exigen el seguimiento y la medición del desempeño como requisito explícito del sistema de gestión, pasando de registrar únicamente los tiempos de retraso a utilizar indicadores preventivos. Se definieron fórmulas matemáticas y metas claras para métricas como la Tasa de Adherencia al Protocolo de Comunicaciones (TAPC) y la medición de fatiga (KSS), brindando a la jefatura una herramienta continua para evaluar la disciplina operativa de manera objetiva.

Se elaboró un plan de implementación detallado y organizado en cuatro fases a lo largo de 24 semanas. Este plan demuestra que el modelo es totalmente viable, ya que aprovecha los recursos actuales de la organización e incluye un programa de formación especializada (en CRM y uso de QRH). De esta forma, se asegura que el modelo pueda aplicarse de manera gradual sin interrumpir las operaciones diarias del Metro de Quito.

De forma integradora, el diseño del modelo MMCI-PCC integra de manera efectiva los requisitos generales de gestión de la norma ISO 9001 con las exigencias específicas de seguridad ferroviaria de la norma ISO 22163. Este modelo proporciona al Puesto de Control Central una solución práctica y estandarizada para reducir los errores humanos, facilitar la toma de decisiones bajo presión y garantizar un servicio de transporte más seguro y regular.

7.2 Recomendaciones

1. Se recomienda formalizar la adopción del MMCI-PCC mediante su incorporación en la documentación del Sistema de Gestión Integrado, incluyendo el mapa de procesos, los procedimientos, el manual de calidad y el cuadro de indicadores. De esta manera, el modelo podrá ser revisado periódicamente en las reuniones de revisión por la dirección y dejará de ser una propuesta aislada para convertirse en parte del sistema de gestión de la organización.
2. Se sugiere implementar el modelo de forma gradual y no desplegar todos sus niveles al mismo tiempo, con el fin de evitar sobrecarga en el personal del PCC. Como primera etapa, conviene priorizar las acciones de mayor impacto y menor complejidad, como la mejora del protocolo de comunicaciones, la digitalización de

consignas operativas y el seguimiento de indicadores como la TAPC, ya que estos cambios pueden generar resultados tempranos y facilitar la aceptación del modelo.

3. Para que el sistema de reporte de errores, el FRACAS y las herramientas asociadas al factor humano funcionen de manera real, es necesario promover una cultura justa dentro de la organización. La gerencia debe establecer lineamientos claros para que el autorreporte de fatiga, los casi accidentes y los errores no intencionales no sean tratados desde una lógica punitiva, sino como oportunidades de aprendizaje y mejora del sistema.
4. Se recomienda fortalecer el perfil profesional del personal del PCC mediante un programa permanente de formación y recertificación en temas como CRM, comunicación efectiva en crisis, manejo de fatiga y gestión de incidencias. Esta formación no debería limitarse a la capacitación inicial, sino integrarse al plan de carrera y a los requisitos de competencia del puesto.
5. Se aconseja consolidar progresivamente un sistema FRACAS de alcance más amplio, en el que el PCC funcione como punto central de reporte y análisis de fallos operativos y humanos. A futuro, este sistema debería integrarse con información proveniente de mantenimiento, infraestructura y estaciones, con el objetivo de construir una visión más completa de los riesgos operacionales del Metro de Quito.
6. A mediano plazo, se recomienda automatizar la captura, consolidación y visualización de los indicadores del MMCI-PCC mediante herramientas de inteligencia de negocios. Esto permitiría reducir errores manuales en el registro de datos, facilitar el seguimiento en tiempo real y apoyar la toma de decisiones con base en información más confiable y oportuna.
7. También se recomienda extender en una segunda fase la lógica de confiabilidad operativa y los acuerdos de nivel de servicio hacia las áreas de mantenimiento e infraestructura. La operación del PCC no puede sostener por sí sola la continuidad del servicio si los tiempos de respuesta de los equipos de apoyo no están alineados con la misma urgencia y disciplina operativa. Esta extensión responde a la visión sistémica de la norma ISO 22163, que entiende la confiabilidad ferroviaria (RAMS) como una propiedad emergente de la cadena completa: operación, mantenimiento e infraestructura.

7.3 Futuras líneas de investigación

1. Una primera línea futura de investigación consiste en evaluar la implementación real del MMCI-PCC una vez que el modelo sea puesto en marcha. Esto permitiría medir con datos reales el comportamiento de los KPI's propuestos y comprobar su efecto sobre la seguridad operacional, la regularidad del servicio y la capacidad de respuesta ante incidencias.
2. También sería pertinente desarrollar de manera específica las herramientas operativas planteadas en este trabajo, por ejemplo, diseñando y validando un conjunto completo de Tarjetas de Acción Rápida (QRH) para los eventos más críticos del PCC. Este desarrollo permitiría pasar del diseño conceptual del modelo a un nivel más aplicado y operativo.
3. Otra línea de investigación importante sería profundizar en el diseño e implementación del sistema FRACAS adaptado al entorno sociotécnico del PCC, incluyendo sus formatos, flujos de aprobación, criterios de análisis de causa raíz y mecanismos de cierre y verificación de acciones correctivas.
4. Se recomienda además realizar estudios posteriores sobre ergonomía física y cognitiva en el entorno del Puesto de Control Central, especialmente en aspectos como la carga de alarmas, la organización visual de la información, la disposición de pantallas y la interacción entre operador y sistema. Este tema quedó fuera del alcance actual, pero puede influir de manera importante en la carga mental del personal y en la calidad de la toma de decisiones.
5. Finalmente, sería útil investigar la integración tecnológica del modelo con plataformas de inteligencia de negocios, sistemas SCADA y registros de voz, de manera que el seguimiento de indicadores y el análisis de tendencias puedan realizarse de forma automatizada y predictiva.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Akerstedt, T., Ingre, M., & Kecklund, G. (2021). The Karolinska Sleepiness Scale in Transport Operations: Validation and practical implementation. *Journal of Sleep Research*, 30(2), e13214.
2. Almeida, J., & Guzmán, P. (2017). *Sistemas Integrados de Gestión: Evolución y aplicabilidad*. Editorial Universitaria.
3. Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR]. (2005). UNE 66177:2005. *Sistemas de gestión. Guía para la integración de los sistemas de gestión*. AENOR.
4. Birolini, A. (2017). *Reliability Engineering: Theory And Practice* (8th Ed.). Springer-Verlag.
5. Caldwell, J. A., Caldwell, J. L., Thompson, L. A., & Lieberman, H. R. (2019). Fatigue And Its Management in The Workplace. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 96, 272–289.
6. Camisón, C., Cruz, S., & González, T. (2011). *Gestión De La Calidad: Conceptos, Enfoques, Modelos y Sistemas*. Pearson Educación.
7. Cárdenas, L., & Villanueva, E. (2019). Análisis de confiabilidad y resiliencia en redes de transporte masivo. *Revista de Ingeniería de Operaciones*, 14(3), 45-62.
8. Carro Paz, R., & González Gómez, D. (2010). *La gestión de la calidad total*. Universidad Nacional de Mar del Plata.
9. CENELEC. (2017). EN 50126-1: Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). European Committee for Electrotechnical Standardization.
10. Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
11. Endsley, M. R., & Jones, D. G. (2011). *Designing for Situation Awareness: An Approach to User-Centered Design* (2.^a ed.). CRC Press.
12. Ergoyes. (2023). *El modelo de queso suizo de causalidad de los accidentes*. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.
13. Flin, R., O'Connor, P., & Crichton, M. (2008). *Safety at the Sharp End: A Guide to Non-Technical Skills*. Ashgate.

14. Fonseca, L. M., & Domingues, J. P. (2021). Integrated management systems in the context of ISO standards: Synergies and challenges. Springer.
15. Fonseca, L., Domingues, P., Machado, P., & Calderón, M. (2019). Management system standards implementation: The ISO 9001:2015 perspective. *Quality Innovation Prosperity*, 23(2), 1-15.
16. Ghasemi, A., Smith, R., & Jones, M. (2022). *Human Factors and Fatigue Risk Management in High-Reliability Organizations* (2.^a ed.). CRC Press.
17. Gómez, R. (2025). James Reason y el Modelo del Queso Suizo: Un legado vivo en la seguridad operacional. *Prevención y Seguridad Empresarial*.
18. Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill.
19. Hollnagel, E. (2014). Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management. Ashgate.
20. Hopkin, P. (2018). Fundamentals of Risk Management: Understanding, Evaluating and Implementing Effective Risk Management (5.^a ed.). Kogan Page.
21. ISO. (2018). ISO 45001:2018 Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo . International Organization for Standardization.
22. ISO. (2023). ISO 22163:2023 Railway applications Railway quality management system. International Organization for Standardization.
23. Karapetrovic, S. (2003). Musings on integrated management systems. *Measuring Business Excellence*, 7(1), 4-13.
24. Karapetrovic, Stanislav. 2003. "Musings on Integrated Management Systems". Mcb Up
25. Li, X., Chen, Y., & Zhang, M. (2024). The Application Progress of Swiss Cheese Model in Safety Management. *Journal of Biosciences and Medicines*, 12, 1-15.
26. Macário, R. (2015). Quality Management in Public Transport. Springer.
27. Modarres, M., Kaminskiy, M. P., & Krivtsov, V. (2023). Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide (4.^a ed.). CRC Press.
28. Nilsson, A. M. J. (2024). Roadmap for UX in future operational train traffic control. *International Journal of Human Factors and Ergonomics*, 11(1), 28-55.

29. Organización Internacional de Normalización (ISO). (2023). *ISO 22163:2023 Railway applications — Railway quality management system — ISO 9001:2015 and specific requirements for application in the railway sector*. Secretaría Central de ISO.
30. Organización Internacional De Normalización (ISO). (2015). *Sistemas De Gestión de la Calidad*. Ginebra, Suiza.
31. Pedraza Miranda, J. (2019). *Aplicación De Un Sistema De Gestión De Calidad (Sgc) Para El Control De Los Costos De Calidad En Ensobretados Y Derivados S.A. De C.V. Centro Universitario Uaem Valle De México*. Recuperado De [Http://Ri.Uaemex.Mx/Bitstream/Handle/20.500.11799/106223/Contenido_Disponible_1.Pdf?isallowed=Y&Sequence=4](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/106223/Contenido_Disponible_1.Pdf?isallowed=Y&Sequence=4)
32. Pinto, A., & Fernández, J. (2021). *Gestión integrada de sistemas operativos: Calidad, seguridad y resiliencia*. Ediciones de la U.
33. Rail Safety and Standards Board (RSSB). (2018). *Safety critical communications: A practical guide*. RSSB.
34. Rausand, M., & Høyland, A. (2004). *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, And Applications* (2nd Ed.). Wiley-Interscience.
35. Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press.
36. Rhona, F., & Flin, R. (2004). *Safety At the Sharp End: A Guide to Non-Technical Skills*. Ashgate Publishing.
37. Robayo López, C., & Rodríguez Rodríguez, D. (2015). Defensa en profundidad aplicado a un entorno empresarial. *Revista Espacios*, 39(42), 19-27.
38. RSSB (Rail Safety and Standards Board). (2018). *Guidance on Safety Critical Communications*. RSSB London.
39. Salvendy, G. (2012). *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (4.^a ed.). John Wiley & Sons.
40. Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). *Research methods for business students* (8th ed.). Pearson.
41. Smith, D. J. (2020). *Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers* (10.^a ed.). Butterworth-Heinemann / Elsevier.
42. Stanton, N. A., Salmon, P. M., & Walker, G. H. (2020). *Human Factors Methods: A Practical Guide for Engineering and Design* (2.^a ed.). CRC Press.

43. Stanton, N. A., Salmon, P. M., & Walker, G. H. (2021). Human Factors in the Design and Evaluation of Central Control Room Operations (2.^a ed.). CRC Press.
44. Tarí, J. J., Molina-Azorín, J. F., & Heras-Saizarbitoria, I. (2020). Benefits of the ISO 9001 and ISO 14001 standards: A literature review. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 13(2), 297-322.
45. Taylor, S. J., Bogdan, R., & DeVault, M. L. (2015). *Introduction to qualitative research methods: A guidebook and resource* (4.^a ed.). John Wiley & Sons.
46. UICInternational Union of Railways. (2020). Safety Management Systems in Railway Operations. UIC Publications.
47. Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2015). *Engineering Psychology and Human Performance* (4.^a ed.). Psychology Press.

9.1 Anexo 1: Hoja de Procesos PCC

FUENTES DE ENTRADA		ENTRADAS		PLANIFICACION DEL PROCESO				SALIDAS		RECIPIENTES DE LA SALIDA	
Procedencia/Proceso/ Actividad	Interna / Externa	Producto/Información/Flujo de Obras		Actividad	Control	Responsable	Producto/Información/Flujo de Obras		Cliente/Proceso/ Actividad	Interna / Externa	
Dirección de Talento Humano, Diversidad e Inclusión Oficina Técnica (Planificación de trabajos y Planificación y programación del servicio de transporte, Capacitación)	Interna	Personal operativo capacitado Unidades de personal que cuentan con beneficio de transporte SG-REG-277 Subsidio de servicios de transporte	➔	Asignación de turnos del personal de Sala de Control. Asignación de transporte para el personal operativo	Aplicación DETALLE para asignación de turnos SG-REG-177 Subsidio de servicios de transporte	Jefe de Personal del Puesto de Control Central	Límite de: Límite de personal de Sala de Control asignado a turno. Planificación de transporte	➔	Personal de Sala de Control (SOF, COC, COT, COT, COCT, COT) Oficina Técnica (Planificación de servicio de transporte, Gestión de turnos)	Interna	
EPHNG Oficina Técnica (Planificación de servicios)	Interna/Externa	Edificio, diseño de mesa de EPHNG (Disponibilidad de datos de material rodante) Plan horario de, SMI, COC, COT	➔	Asignación de unidades de tren al servicio del plan de operación según el tipo de día.	SG-REG-224 Asignación de unidades de tren a servicios de plan horario SG-PLA-04 Plan de operación (Incluye centro de control y centro de mesa)	Supervisor de Operaciones (SOF) Contratador de Talento y Cachetas (COTC)	SG-REG-224 Asignación de unidades de tren a servicios de plan horario diligenciado.	➔	Gerencia FCC (Servicio de Operación de Trenes)	Interna	
FUENTES DE ENTRADA		ENTRADAS		ACTIVIDADES OPERATIVAS DEL PROCESO				SALIDAS		RECIPIENTES DE LA SALIDA	
Procedencia/Proceso/ Actividad	Interna / Externa	Producto/Información/Flujo de Obras		Actividad	Control	Responsable	Producto/Información/Flujo de Obras		Cliente/Proceso/ Actividad	Interna / Externa	
Gerencia de Estaciones Gerencia de FCC (Servicio de Operación de Trenes) Gerencia de FCC (Dependencia en la Sala de Control)	Interna	Procedimientos operativos del FCC Límites de Límites de personal de Sala de Control asignado a turno. SG-REG-224 Dependencia de unidades de tren a servicios de plan horario diligenciado.	➔	Apertura y cierre del servicio comercial (Ejecución del servicio)	SG-PO-ACC-43 Apertura y cierre del servicio comercial en la PLMG SG-REG-176 Informe Datos de Operaciones PLMG (SOF)	Supervisor de Operaciones (SOF)	SG-REG-176 Informe Datos de Operaciones PLMG (SOF) (Nota Operacional)	➔	Gerencia de FCC (Servicio de Operación de Trenes) Unidades del Metro de Quito	Interna/Externa	
Gerencia de FCC (Dependencia en la Sala de Control) Oficina Técnica (Gestión de Operación de Talento y Obras COT)	Interna	Límite de personal de Sala de Control asignado a turno. Procedimientos operativos del Sistema de Energía de PLMG. SG-REG-115 Instrucción Operacional de Talento y Obras (COT)	➔	Control del sistema de Energía - Gestión, supervisión y control del Sistema de Gestión de Energía - Coordinación de mantenimientos.	SG-REG-122 Registro de trabajos y eventos SG-REG-123 Registro de trabajos y eventos SG-REG-214 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC) SG-REG-212 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC) SG-REG-213 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC)	Contratador de Energía (COC)	Gestión, supervisión y control del sistema de gestión de energía. SG-REG-122 Registro de trabajos y eventos SG-REG-123 Registro de trabajos y eventos SG-REG-214 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC) SG-REG-212 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC) SG-REG-213 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC)	➔	EPHNG Gerencia de Mantenimiento (MD) Gerencia de Mantenimiento (BN)	Interna/Externa	
Gerencia de FCC (Sala de Control COC, COT, COCT, COT) Gerencia de Mantenimiento Personal Operativa	Interna/Externa	Alarmas de los sistemas, información de eventos.	➔	Reporte de fallas y eventos Registros, informar y gestionar las acciones de ajuste de los sistemas e infraestructuras.	SG-REG-227 Reporte de averías	Contratador de Energía (COC)	Registros de incidencias en ITS (Excepción de OT).	➔	Gerencia de Mantenimiento (CMT)	Interna	
Gerencia de FCC (Dependencia en la Sala de Control) Oficina Técnica (Gestión de Operación de Talento y Obras COT)	Interna	Límite de personal de Sala de Control asignado a turno. SG-REG-224 Asignación de unidades de tren a servicios de plan horario diligenciado.	➔	Control del sistema de Gestión de Talento - Gestión, supervisión y control del Sistema de Gestión de Talento a través de EPHNG - Coordinación de eventos y ajuste operativo con el personal de Servicio de Operación de Trenes. - Coordinación de actividades para el mantenimiento de Trenes del Fondo de Talentos. - Coordinar las actividades de mantenimiento en trenes. - Coordinar las prácticas de entrenamiento por parte de AGT	SG-REG-122 Registro de trabajos y eventos SG-REG-123 Registro de trabajos y eventos SG-REG-214 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC) SG-REG-212 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC) SG-REG-213 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC)	Contratador de Talento (COT)	Gestión, supervisión y control de la ejecución del plan de operación cargado en el sistema (Inclusión de trabajos) Mantenimiento para el establecimiento de Trenes en Fondo de Talento SG-REG-122 Registro de trabajos y eventos SG-REG-123 Registro de trabajos y eventos SG-REG-214 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC) SG-REG-212 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC) SG-REG-213 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC)	➔	Gerencia de FCC (Servicio de Operación de Trenes) Unidades del Metro de Quito Contratador de Energía (COC) EPHNG Gerencia de Mantenimiento (MD)	Interna/Externa	
Gerencia de FCC (Dependencia en la Sala de Control) Gerencia de Estaciones	Interna	Límite de personal de Sala de Control asignado a turno. Estaciones habilitadas para servicio comercial.	➔	Control del sistema de Estaciones - Supervisión y control del sistema de estaciones (Indice sus alertas) - Coordinación de eventos y ajuste operativo con el personal operativo de estaciones.	SG-REG-225 Registro de eventos y SG-REG-226 Registro de eventos SG-REG-227 Reporte de eventos SG-REG-228 Registro de eventos	Contratador de Estaciones (COT)	Coordinación de eventos y ajuste operativo que se presentan en la PLMG. SG-REG-225 Registro de eventos y SG-REG-226 Registro de eventos SG-REG-227 Reporte de eventos diligenciado.	➔	Gerencia de Estaciones Unidades del Metro de Quito Gerencia de FCC (Energía Pública y C.C.) Contratador de Energía (COC)	Interna/Externa	
Gerencia de FCC (Dependencia en la Sala de Control) Dirección de Comunicación y Cultura Vial	Interna	Límite de personal de Sala de Control asignado a turno. SG-REG-224 Manual de atención	➔	Control del sistema de Información al Viajero - Supervisión y control del sistema de información al viajero. - Gestión de mensajes al sistema a través del Sistema de Vigilancia. Control al sistema a través de Vigilancia.	SG-REG-219 Control de ingresos y cuentas técnicas. SG-REG-224 Registro de eventos y cuentas técnicas. SG-REG-227 Reporte de eventos	Contratador de Sistema de Información al Viajero (COT)	Registros de las acciones que se presentan en el sistema de información al viajero. SG-REG-219 Control de ingresos y cuentas técnicas diligenciado. SG-REG-224 Registro de eventos y cuentas técnicas diligenciado. SG-REG-227 Reporte de eventos diligenciado.	➔	Unidades del Metro de Quito Contratador de Energía (COC)	Interna/Externa	
Gerencia de FCC (Dependencia en la Sala de Control) Oficina Técnica (Planificación de servicios) Oficina Técnica (Gestión de Operación de Talento y Obras COT)	Interna	Límite de personal de Sala de Control asignado a turno. SG-REG-224 Asignación de unidades de tren a servicios de plan horario diligenciado. Plan horario según tipo de día (S, M, D, COC)	➔	Control de actividades en Talleres y Cachetas - Supervisión y control de la circulación de trenes en Talleres y Cachetas. - Coordinación de actividades de mantenimiento en Talleres y Cachetas.	SG-REG-122 Registro de trabajos y eventos SG-REG-123 Registro de trabajos y eventos SG-REG-214 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC) SG-REG-212 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC) SG-REG-213 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC)	Contratador de Talleres y Cachetas (COTC)	Trenes estacionados en Talleres y Cachetas. SG-REG-122 Registro de trabajos y eventos SG-REG-123 Registro de trabajos y eventos SG-REG-214 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC) SG-REG-212 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC) SG-REG-213 Tablero de monitoreo de estado de proceso de energía (COC)	➔	Gerencia de FCC (Servicio de Operación de Trenes) Contratador de Talento (COT) EPHNG Gerencia de Mantenimiento (MD)	Interna/Externa	
Gerencia de FCC (Dependencia en la Sala de Control) Oficina Técnica (Planificación de servicios) Oficina Técnica (Gestión de Operación de Talento y Obras COT)	Interna	Límite de personal de Sala de Control asignado a turno. SG-REG-224 Asignación de unidades de tren a servicios de plan horario diligenciado. Plan horario según tipo de día (S, M, D, COC)	➔	Supervisar el desarrollo de la operación comercial y trabajo de mantenimiento Coordinar las estrategias operativas, según las indicaciones que se presentan en la PLMG Generar reportes y registros de los trabajos de mantenimiento nocturno Generar una correcta operación durante la noche de mantenimiento nocturno Generación de reportes y registros Elaborar informes sobre incidentes y accidentes Elaboración de informes operativos Mantenimiento de los sistemas operativos Generar la información del personal entre puntos de FCC Elaboración de informes operativos Elaboración de informes operativos Seguimiento a información de equipos del FCC	SG-REG-21 Instrucción Operacional SG-REG-141 Registro de hechos de Mantenimiento Operacional SG-REG-176 Informe Datos de Operaciones PLMG (SOF) SG-REG-178 Informe Datos de Operaciones PLMG (SOF) SG-REG-179 Informe Datos de Operaciones PLMG (SOF) SG-REG-180 Informe Datos de Operaciones PLMG (SOF) SG-REG-181 Informe Datos de Operaciones PLMG (SOF) SG-REG-182 Informe Datos de Operaciones PLMG (SOF) SG-REG-183 Informe Datos de Operaciones PLMG (SOF) SG-REG-184 Informe Datos de Operaciones PLMG (SOF) SG-REG-185 Informe Datos de Operaciones PLMG (SOF)						
Gerencia de FCC (Dependencia en la Sala de Control)	Interna	Límite de personal de Sala de Control asignado a turno.	➔	Revisión de la planificación de trabajos en la PLMG Mantener reuniones de coordinación periódicas con los sistemas externos internos y externos para una correcta operación de la PLMG. Revisión semanal de SOT para la Vía Técnica de Planificación.	SG-REG-8 Acta de reunión Presidencias operativas correspondientes	Supervisor de Operaciones (SOF)	SG-REG-8 Acta de reunión diligenciado.	➔	Oficina Técnica (Gestión de Permisos de Trabajo) Gerencia de Estaciones Gerencia de FCC (Servicio de Operación de Trenes) Gerencia de FCC (Energía Pública y Comunicación Ciudadana SMD MEX	Interna / Externa	
FUENTES DE ENTRADA		ENTRADAS		VERIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL PROCESO				SALIDAS		RECIPIENTES DE LA SALIDA	
Procedencia/Proceso/ Actividad	Interna / Externa	Producto/Información/Flujo de Obras		Actividad	Control	Responsable	Producto/Información/Flujo de Obras		Cliente/Proceso/ Actividad	Interna / Externa	
CHSE	Interna	SG-PO-CHSE-63 Procedimientos de habilitación de competencias	➔	Garantizar la habilitación de competencias del personal de FCC (Sala de Control) y actuar en casos de desviaciones.	Auditoría Tipo Operativa, Controlador y Seguridad Permisos	Supervisor de Operaciones (SOF) CHSE	Habilitación de competencias del personal de FCC (Sala de Control).	➔	CHSE	Interna	
Operación de la sala de control	Interna	- Datos de seguimiento y medición de control al proceso	➔	Elaborar de información para el cálculo y verificación de indicadores KPIs	SG-PO-CHSE-31 Procedimientos para el seguimiento y medición de procesos y la calidad productiva	Supervisor de Operaciones (SOF)	- Análisis de indicadores de proceso / KPI - Salidas	➔	- Gerente de FCC - Jefe de Sala de Control	Interna	
FUENTES DE ENTRADA		ENTRADAS		MEJORA DEL DESEMPEÑO DEL PROCESO				SALIDAS		RECIPIENTES DE LA SALIDA	
Procedencia/Proceso/ Actividad	Interna / Externa	Producto/Información/Flujo de Obras		Actividad	Control	Responsable	Producto/Información/Flujo de Obras		Cliente/Proceso/ Actividad	Interna / Externa	
CHSE	Interna	Decisiones en las competencias del personal de FCC (Sala de Control).	➔	Aplicar la metodología para la gestión de decisiones en competencias de personal de FCC (SG-PO-CHSE-48 Procedimientos de Control de decisiones)	Uso de las guías de taller para, habilitación por taller para, flujo de supervisión por taller para.	Supervisor de Operaciones (SOF) CHSE	Control de decisiones en las competencias del personal de FCC (Sala de Control).	➔	CHSE	Interna	
Operación de la sala de control	Interna	- Inicialización de los procesos (KPI, Flujo de acción)	➔	Evaluación de riesgos procesos Tratamiento de las Conformidades Implementación de planes de mejora continua	SG-PO-CHSE-33 Procedimientos para la gestión de riesgos y aperturas SG-PO-CHSE-29 Procedimientos de no conformidad y aperturas SG-PO-CHSE-43 Procedimientos de riesgos control de	Supervisor de Operaciones (SOF) Jefe de Calidad	Planes de acciones implementadas para mejoramiento de actividades de proceso	➔	Operación de la sala de control	Interna	

9.2 Anexo 2. Ejemplo Ficha técnica ICA

FORMATO DOCUMENTAL: FICHA TÉCNICA DE INDICADOR DE GESTIÓN (KPI)

CÓDIGO:	SGL-KPI-PCC-02	PROCESO:	Puesto de Control Central (PCC)
VERSIÓN:	01	SUBPROCESO:	Operación desde la sala de control
FECHA:	___/___/2026	NORMAS REF:	ISO 45001 ISO 22163 Cultura Justa

1. IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR

Nombre del Indicador:	Índice de Casi-Accidentes (Near-Miss Index).
Tipo de Indicador:	Proactivo / Predictivo (Nivel 1 Organizativo - Cultura de Seguridad).
Objetivo Estratégico:	Fomentar un entorno psicológicamente seguro para visibilizar fallos latentes antes del accidente.
Justificación (Cambio de Paradigma SGI):	Un aumento en este indicador NO es negativo. Demuestra que la organización transita de una cultura punitiva a una 'Cultura Justa' madura, donde el personal pierde el miedo a reportar.

2. ESTRUCTURA MATEMÁTICA Y LÍMITES

Near-Miss Index (%) =	$\frac{(\text{Nº Total de Casi-Accidentes reportados voluntariamente})}{(\text{Nº Total de Eventos e Incidencias reportadas en el periodo})} * 100$
------------------------------	---

Total de Eventos:	Suma de los Accidentes/Fallos reales + los Casi-Accidentes reportados preventivamente.
Casi-Accidente:	Errores potenciales o situaciones de riesgo gestionadas antes de que causaran daño real.
Frecuencia de Medición:	Cálculo y revisión mensual por la Dirección.

3. RESPONSABILIDADES Y FUENTES

Registro (Generación):	Controladores de Tráfico (COT) y todo el personal operativo de sala (De forma voluntaria).
Análisis y Consolidación:	Comité de Seguridad SGI / Gerencia de Operaciones PCC.
Fuente de Información:	Formulario web interno anónimo, buzón físico en sala de control o Sistema FRACAS abierto.

4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y METAS (Semáforo de Cultura Justa)

Línea Base:	Tasa histórica de reportes voluntarios antes de implementar la política 'Just Culture'.
Meta Inicial Objetivo:	Incrementar en un 20% la tasa de reportes voluntarios durante el primer semestre.

Semáforo	Condición (Evolución de Reportes)	Interpretación Organizativa (Cultura)
VERDE (Cultura Madura)	Aumento > 20% en los reportes de casi-accidentes.	ÉXITO: El personal ha perdido el miedo a las represalias. Hay alta confianza para aplicar correcciones tempranas.
AMARILLO (Transición)	Aumento entre 0% y 20%.	ESTABLE: Se están reportando eventos, pero la Cultura Justa aún no está totalmente arraigada en el equipo.
ROJO (Cultura Punitiva)	Disminución de reportes o 0 reportes en el mes.	RIESGO GRAVE: Existen fallos ocultos. El personal no reporta por miedo a sanciones disciplinarias.

5. PLAN DE ACCIÓN ANTE DESVIACIONES (Semáforo Rojo)

Una alerta roja (ausencia de reportes) no significa 'perfección', sino que los KPIs de seguridad se están alimentando con datos ocultos (infrareporte). La Gerencia deberá:

- Revisión de Políticas:** Garantizar y ratificar por escrito que el auto-reporte de errores no es sancionado.
- Encuestas Anónimas:** Ejecutar una evaluación del clima de seguridad psicológica en el PCC.
- Intervención Directiva:** Campaña de concientización directa liderada por la Alta Dirección.

9.3 Anexo 3: QRH

SGI-PO-PCC-06: ATENCIÓN POR DESCARRILAMIENTO (CLAVE DELTA)

TARJETA DE ACCIÓN RÁPIDA (QRH) - PUESTO DE CONTROL CENTRAL

EMERGENCIA

FASE 1: DETECCIÓN Y ASEGURAMIENTO (T=0)

[OPT] Detiene el tren (Seta), activa bocina (Señal P5) y reporta a COT por TETRA.

[COT] DA MENSAJE GENERAL: "Detener marcha de todos los trenes de la línea"

[OPT] Desenergiza el tren (abate pantógrafos) y confirma a COT.

[COT/CET] Coordinan con COE para DESENERGIZAR LA VÍA (SGI-PO-PCC-04).

FASE 2: ACTIVACIÓN DE RECURSOS (T+5)

[CET] Solicita activación de SIS ECU-911 e informa a SOPT / COPT del evento.

[ARPPC] Comunica al ECU-911 y PMETRO en PCC para articulación externa.

[AGE] Asume el mando en sitio como Comandante de Incidente (CI).

[CET] Evalúa y ordena evacuación según magnitud (Tren/Inter-estación/Estación).

INFO: En la noche sin PO, Seguridad Privada apoya comunicación hasta que llegue SOP.

FASE 3: MITIGACIÓN Y TRANSFERENCIA (T+15)

[PO/AGE] Finaliza evacuación de usuarios y CIERRA LA ESTACIÓN para evitar ingresos.

[AGE/CI] Recibe a IAEs (Bomberos/Policía), transfiere el mando y entrega radios de enlace.

[SOP] Asume coordinación de acciones estratégicas y genera reportes directivos.

FASE 4: RECUPERACIÓN (CIERRE DE EMERGENCIA)

[MTTO] Evalúa daños en equipos/infraestructura y autoriza cierre de emergencia a AGE.

[AGE] Notifica a CET el cierre por parte de IAE/MTTO. Coordina orden y limpieza.

[CET] Realiza movimiento de trenes averiados hacia Talleres y Cocheras (TYC).

[COT/CET] INFORMA POR RADIO A TODO EL PO: RESTABLECIMIENTO DEL SERVICIO

[AGE] Emite anuncio en Megafonía, reabre estación y elabora Informe SGI-REG-47.

[QHSE] Inicia investigación (SGI-PO-QHSE-14) y remite informe a EPMMQ.

PRIORIDAD DE COMUNICACIONES EN DESCARRILAMIENTO:

1. OPT -> COT: Reporte inmediato (Detiene el resto de la flota).

2. COT -> COE: Solicitud de desenergización de catenaria para seguridad de evacuación.

Nota: Este QRH agrupa SGI-PO-PCC-06. En Clave Delta, las decisiones tácticas del COT tienen prioridad absoluta sobre los tiempos comerciales (KPI TCTRE).

9.4 Anexo 4: TAPO por evento

FORMATO DOCUMENTAL: REGISTRO DE ADHERENCIA A QRH (POR EVENTO)

CÓDIGO: SGI-REG-TAPO-01

VERSIÓN: 02

FECHA: ____/____/2026

PROCESO: Puesto de Control Central (PCC)

SUBPROCESO: Operación desde la sala de control

SISTEMA: Auditoría Operativa / Gestión Documental

FASE 1: DATOS DEL EVENTO CRÍTICO A EVALUAR

Fecha del Evento: ____/____/202__ Hora Inicio: ____:____ Hora Fin: ____:____ Turno: ☐ AM ☐ PM ☐ Noche

Tipo de Emergencia / QRH Evaluado: _____

Controlador Evaluado: _____ Auditor (SOP): _____

FASE 2: CHECKLIST DE ADHERENCIA AL CUMPLIMIENTO (AUDITORÍA PASO A PASO)

Transcriba los pasos críticos del QRH y evalúe mediante las grabaciones (Voice Logging) o bitácoras si el operador ejecutó la acción de forma correcta. (N/A = No Aplica por las condiciones del evento).

Nº	Descripción del Paso Crítico (Según Tarjeta QRH aplicada)	Cumple (1)	No Cumple (0)	No Aplica (N/A)	Observaciones / Desvío
1		☐	☐	☐	
2		☐	☐	☐	
3		☐	☐	☐	
4		☐	☐	☐	
5		☐	☐	☐	
6		☐	☐	☐	
7		☐	☐	☐	
8		☐	☐	☐	
9		☐	☐	☐	
10		☐	☐	☐	

FASE 3: RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DEL EVENTO

Total de Pasos Aplicables (Restando los N/A): _____

Total de Pasos Cumplidos: _____

% Adherencia de este Evento: _____ %

Clasificación Final (Para KPI Mensual):

☐ CONFORME ($\geq 90\%$ de adherencia).

☐ NO CONFORME ($< 90\%$ de adherencia).

FASE 4: ACCIONES CORRECTIVAS Y CIERRE

¿Requiere apertura de reporte FRACAS Operativo? () SÍ, es un evento No Conforme. () NO.

Comentarios del Auditor / Acciones Inmediatas: _____

Firma del Auditor (SOP)

Firma de Revisión (Gerencia PCC)

9.5 Anexo 5. Memoria de Cálculo Estadístico para la Línea Base de Tiempos de Respuesta

Objetivo: Determinar los tiempos meta estándar (línea base) para el indicador de Tasa de Cumplimiento del Tiempo Estándar de Recuperación (TCTRE), utilizando los percentiles 50 (Mediana) y 75 de los datos históricos del Informe Diario de Operaciones (IDO).

Metodología: Se utilizó el método de interpolación lineal para el cálculo de percentiles en datos no agrupados. La posición (L_p) de un percentil P en un conjunto de n observaciones ordenadas se define mediante la ecuación:

$$L_p = \frac{P}{100} \times (n - 1) + 1$$

A continuación, se presenta la distribución de frecuencias para la categoría de mayor impacto ("Fallas de Material Rodante"), la cual consta de $n = 458$ incidencias tácticas válidas (≤ 60 minutos).

Tabla

A1

Tabla de Distribución de Frecuencias: Tiempos de Respuesta en Fallas de Material Rodante

(Minutos)	f_i (Frec. Abs.)	F_i (Frec. Acum.)	h_i (Frec. Rel.)	H_i (Frec. Rel. Acum.)	p_i (%)	P_i (% Acum.)
1.0	223	223	0.4869	0.4869	48.69%	48.69%
1.5	1	224	0.0022	0.4891	0.22%	48.91%
2.0	6	230	0.0131	0.5022	1.31%	50.22%
3.0	1	231	0.0022	0.5044	0.22%	50.44%
4.0	60	291	0.1310	0.6354	13.10%	63.54%
5.0	52	343	0.1135	0.7489	11.35%	74.89%
6.0	43	386	0.0939	0.8428	9.39%	84.28%
7.0	20	406	0.0437	0.8865	4.37%	88.65%
8.0	17	423	0.0371	0.9236	3.71%	92.36%

9.0	8	431	0.0175	0.9410	1.75%	94.10%
≥ 10.0	27	458	0.0590	1.0000	5.90%	100.00%
Total	$n = 458$		1.0000		100.00%	

Nota. X_i = Tiempo de retraso en minutos; f_i = Frecuencia absoluta (número de incidencias); F_i = Frecuencia absoluta acumulada; h_i = Frecuencia relativa; H_i = Frecuencia relativa acumulada; p_i = Porcentaje; P_i = Porcentaje acumulado. Los eventos mayores a 10 minutos se han agrupado en la última fila por motivos de tabulación. Fuente: Elaboración propia con base en los registros del IDO de la PLMQ (diciembre 2023 - febrero 2026).

5. 1. Cálculo de la Mediana (Percentil 50)

Se determina la posición para el $P = 50$:

$$L_{50} = 0.50 \times (458 - 1) + 1 = 229.5$$

Ubicando la posición 229.5 en la columna de frecuencia absoluta acumulada (F_i) de la **Tabla A1**, se observa que las posiciones desde la 225 hasta la 230 corresponden al valor $X_i = 2.0$ minutos. Por lo tanto, al interpolar entre el valor de la posición 229 (2.0) y la posición 230 (2.0), el resultado es exacto:

- **P50 = 2.0 minutos.** (El 50% de las incidencias de material rodante se resuelven en 2 minutos o menos).

6. 2. Cálculo del Percentil 75 (Línea base del estándar de calidad)

Se determina la posición para el $P = 75$:

$$L_{75} = 0.75 \times (458 - 1) + 1 = 343.75$$

Ubicando la posición 343.75 en la columna F_i de la **Tabla A1**, se identifica que la posición 343 corresponde al bloque de $X_i = 5.0$ minutos, mientras que la posición 344 inicia el bloque de $X_i = 6.0$ minutos. Se procede con la interpolación lineal utilizando la fracción decimal (0.75):

$$P_{75} = 5.0 + 0.75 \times (6.0 - 5.0)$$

$$P75 = 5.0 + 0.75 = 5.75$$

- **P75 = 5.75 minutos.**

Tabla

A2

Tabla de Distribución de Frecuencias: Tiempos de Respuesta en Señalización y Control (ATC/ATP)

(Minutos)	f_i (Frec. Abs.)	F_i (Frec. Acum.)	h_i (Frec. Rel.)	H_i (Frec. Rel. Acum.)	p_i (%)	P_i (% Acum.)
1.0	3	3	0.0140	0.0140	1.40%	1.40%
2.0	1	4	0.0047	0.0186	0.47%	1.86%
3.0	1	5	0.0047	0.0233	0.47%	2.33%
4.0	66	71	0.3070	0.3302	30.70%	33.02%
5.0	41	112	0.1907	0.5209	19.07%	52.09%
6.0	28	140	0.1302	0.6512	13.02%	65.12%
7.0	15	155	0.0698	0.7209	6.98%	72.09%
8.0	12	167	0.0558	0.7767	5.58%	77.67%
9.0	14	181	0.0651	0.8419	6.51%	84.19%
≥ 10.0	34	215	0.1581	1.0000	15.81%	100.00%
Total	$n = 215$		1.0000		100.00%	

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en los registros del IDO (Dic 2023 - Feb 2026). El Percentil 50 ($L_{50} = 108.0$) recae en el bloque de 5.0 minutos. El Percentil 75 ($L_{75} = 161.5$) recae en el bloque de 8.0 minutos.

Tabla

A3

Tabla de Distribución de Frecuencias: Tiempos de Respuesta en Telecomunicaciones y Sistemas

(Minutos)	f_i (Frec. Abs.)	F_i (Frec. Acum.)	h_i (Frec. Rel.)	H_i (Frec. Rel. Acum.)	p_i (%)	P_i (% Acum.)
1.0	2	2	0.0909	0.0909	9.09%	9.09%

(Minutos)	f_i (Frec. Abs.)	F_i (Frec. Acum.)	h_i (Frec. Rel.)	H_i (Frec. Rel. Acum.)	p_i (%)	P_i (% Acum.)
4.0	3	5	0.1364	0.2273	13.64%	22.73%
5.0	2	7	0.0909	0.3182	9.09%	31.82%
6.0	2	9	0.0909	0.4091	9.09%	40.91%
7.0	2	11	0.0909	0.5000	9.09%	50.00%
8.0	2	13	0.0909	0.5909	9.09%	59.09%
9.0	3	16	0.1364	0.7273	13.64%	72.73%
≥ 10.0	6	22	0.2727	1.0000	27.27%	100.00%
Total	$n = 22$		1.0000		100.00%	

Nota. Fuente: Elaboración propia. El Percentil 50 ($L_{50} = 11.5$) recae en la interpolación de 7.5 minutos. El Percentil 75 ($L_{75} = 16.75$) recae en la interpolación de 9.75 minutos.

Tabla

A4

Tabla de Distribución de Frecuencias: Tiempos de Respuesta en Errores Operativos y de Maniobra

(Minutos)	f_i (Frec. Abs.)	F_i (Frec. Acum.)	h_i (Frec. Rel.)	H_i (Frec. Rel. Acum.)	p_i (%)	P_i (% Acum.)
1.0	3	3	0.2143	0.2143	21.43%	21.43%
4.0	7	10	0.5000	0.7143	50.00%	71.43%
5.0	1	11	0.0714	0.7857	7.14%	78.57%
7.0	1	12	0.0714	0.8571	7.14%	85.71%
8.0	1	13	0.0714	0.9286	7.14%	92.86%
≥ 10.0	1	14	0.0714	1.0000	7.14%	100.00%
Total	$n = 14$		1.0000		100.00%	

Nota. Fuente: Elaboración propia. El Percentil 50 ($L_{50} = 7.5$) recae en el bloque de 4.0 minutos. El Percentil 75 ($L_{75} = 10.75$) recae en la interpolación de 4.75 minutos.

9.6 Anexo 6: FRACAS

FORMATO DOCUMENTAL FRACAS OPERATIVO Y SOCIOTÉCNICO (MMCI-PCC)

CÓDIGO: SGI-REG-FRACAS-01	VERSIÓN: 01	FECHA: __/__/2026
MACROPROCESO: Operaciones	SUBPROCESO: Puesto de Control Central (PCC)	

FASE 1: REPORTE Y DETECCIÓN (REPORTING) - Levantamiento inalterable del evento adverso

1.1 Datos Generales del Evento

N° de Reporte FRACAS: _____ Fecha del Evento: __/__/____ Hora: __:__

Lugar / Subsistema Afectado: _____

Reportado por (Puesto/Turno): _____

1.2 Clasificación de la Desviación Operativa (Marcar con X)

☐ Falla Técnica / Afectación a Infraestructura (Material Rodante, ATP, ATC, SCADA, etc.)

☐ Desviación de Procedimiento (Incumplimiento de Manual de Operaciones / Tarjeta QRH)

☐ Error de Comunicación (Ambigüedad, falta de 'read-back' en órdenes críticas TETRA)

☐ Fatiga o Saturación Cognitiva (Decisión errónea bajo alta presión / Nivel KSS > 7)

☐ Otros (Especificar): _____

1.3 Impacto Operativo Inmediato

Tiempo de Ciclo y Recuperación de Trenes (TCTRE): _____ Minutos de retraso

Afectación al Servicio Comercial: _____

Descripción de los síntomas del fallo (Hechos objetivos, sin suposiciones):

FASE 2: ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ (ANALYSIS) - Aislamiento de la vulnerabilidad de origen

2.1 Metodología de Análisis Utilizada (Marcar con X)

☐ Los 5 Porqués ☐ Diagrama de Ishikawa (Espina de Pescado) ☐ Árbol de Fallas (FTA)

2.2 Análisis de Factores Contribuyentes (Enfoque Queso Suizo)

Nivel Organizacional (Defensas Latentes): _____

Nivel Técnico (Estandarización/Manuales): _____

Nivel Cognitivo (Factor Humano/Estrés): _____

2.3 Declaración de la Causa Raíz Fundamental:

FASE 3: ACCIÓN CORRECTIVA Y PREVENTIVA (CORRECTIVE ACTION - CAPA)

ID	Descripción de la Acción	Nivel MMCI	Responsable	Fecha	Estado

FASE 4: VERIFICACIÓN Y CIERRE (CLOSURE) - Auditoría longitudinal post-implementación

Fecha de la Auditoría de Verificación: ____/____/____

¿La Acción Correctiva fue eficaz? (¿El evento adverso no ha vuelto a ocurrir?): ☐ SÍ ☐ NO

Si la respuesta es NO, abrir nuevo N° de Reporte FRACAS: _____

Comentarios de cierre de eficacia:

Analista / Supervisor SGI

Gerente del PCC