

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

Gestión de la calidad basada en el PMBOK® para optimizar el cronograma y reducir los costos del proyecto llave en mano SCADA-BMS de la Línea 2 del Metro de Lima

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico.

Elaborado por

Corina Fanny Lazo Arroyo

 [0009-0003-7458-589X](https://orcid.org/0009-0003-7458-589X)

Asesor

Dr. Aurelio Marcelo Padilla Ríos

 [0009-0007-6270-6171](https://orcid.org/0009-0007-6270-6171)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite (Lazo, 2025)

Referencia/Reference

Estilo/Style:

APA (7ma ed.)

Lazo, C. (2025). *Gestión de la calidad basada en el PMBOK® para optimizar el cronograma y reducir los costos del proyecto llave en mano SCADA-BMS de la Línea 2 del Metro de Lima*. [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.

Dedicatoria

Con mucho cariño dedico el presente proyecto para lo que les debo la vida Agustín, Nancy, Nora, familiares y Shaki. Su compañía y sabiduría transmitida siempre será el motor en mi vida.

A quien me acompaño y me sirvió café mientras estaba haciendo mi tesis.

A la UNI, por darme retos, amigos, comedor, profesores y mi primera carrera. Cada proceso que pase fue una enseñanza.

Agradecimiento

Agradezco al ser absoluto por enseñarme a que todo lo que quiero, lo puedo lograr. Y Seguidamente me agradezco porque sin mi todo esto no sería posible.

Le agradezco a mi querida comunidad Lazo Arroyo y los que la vida me regaló como familia por su cariño, respaldo, y por apostar en mí, me motivan en el camino de la superación y ahora después de esta primera victoria puedo ver un pequeño resultado y me muestra todo lo que queda por conquistar.

Por ultimo y no menos importante quiero manifestar mi profundo agradecimiento mi asesor de Tesis, Aurelio Padilla por su orientación, paciencia y dedicación en este largo proceso.

Resumen

Optimizar la gestión de la calidad en megaproyectos ferroviarios es esencial para asegurar su cumplimiento técnico, económico y plazo contractual. En este contexto, la Línea 2 del Metro de Lima, declarada de necesidad pública e interés nacional, constituye una de las obras más relevantes del país. Dentro de este proyecto, el sistema SCADA-BMS (Supervisory Control and Data Acquisition – Building Management System) cumple un rol crítico al integrar los subsistemas de electricidad, climatización, telecomunicaciones, control de acceso y ventilación. El diagnóstico inicial evidenció deficiencias en la planificación, aseguramiento y control de calidad, que generaron retrabajos y desviaciones en el cronograma. Por ello, esta investigación propone la aplicación de las buenas prácticas del PMBOK® como modelo integral para mejorar la calidad, optimizar el cronograma y reducir los costos del proyecto SCADA-BMS – Tramo 6. La metodología utilizada fue de enfoque mixto (cuantitativo–cualitativo), apoyada en encuestas, entrevistas técnicas y análisis de indicadores de desempeño (SPI, CPI) mediante el método del Valor Ganado (EVM). Se implementaron los tres procesos de gestión de la calidad del PMBOK® —planificar, gestionar y controlar la calidad— integrándolos con las fases de ingeniería, instalación, pruebas SAT y SIT. Los resultados mostraron una mejora del SPI de 0.85 a 0.97 y del CPI de 0.89 a 1.01, así como una reducción del 66 % en los retrabajos y un incremento del 20 % en la productividad. Se concluye que la gestión de la calidad basada en PMBOK® mejora la eficiencia del cronograma y los costos, estableciendo un modelo replicable para futuros proyectos ferroviarios bajo modalidad llave en mano.

Palabras clave: Gestión de la calidad, PMBOK®, SCADA-BMS, Metro de Lima Línea 2, gestión de proyectos, optimización de cronograma y costos, automatización ferroviaria.

Abstract

Optimizing quality management in large-scale railway projects is essential to ensure technical, financial, and schedule performance. In this context, Lima Metro Line 2, declared of public necessity and national interest, represents one of Peru's most significant infrastructure works. Within this project, the SCADA-BMS system (Supervisory Control and Data Acquisition – Building Management System) plays a critical role by integrating subsystems such as power, HVAC, telecommunications, access control, and ventilation. The initial diagnosis revealed deficiencies in quality planning, assurance, and control, leading to rework and schedule deviations. Therefore, this study proposes the application of PMBOK® best practices as a comprehensive model to enhance quality management, optimize the schedule, and reduce costs in the SCADA-BMS Section 6 turnkey project. A mixed methodological approach (quantitative–qualitative) was used, supported by surveys, technical interviews, and performance indicators (SPI, CPI) analyzed through Earned Value Management (EVM). The three PMBOK® quality management processes—planning, managing, and controlling quality—were integrated into the project's engineering, installation, testing phases SAT and SIT. The results showed an improvement of SPI from 0.85 to 0.97 and CPI from 0.89 to 1.01, along with a 66% reduction in rework and a 20% increase in productivity. It is concluded that a PMBOK®-based quality management framework enhances schedule efficiency and cost control, establishing a replicable model for future railway and automation projects under the turnkey (EPC) modality.

Keywords: Quality management, PMBOK®, SCADA-BMS, Lima Metro Line 2, project management, schedule and cost optimization, railway automation.

Tabla de Contenido

CAPITULO 1	Generalidades.....	1
1.1.	Antecedentes Investigativos	1
1.2.	Identificación y Descripción del problema de Estudio.....	8
1.3.	Formulación del Problema	11
1.3.1.	Problema General.....	11
1.3.2.	Problemas Específicos	11
1.4.	Justificación e importancia de la investigación.....	12
1.4.2.	Justificación Social	13
1.4.3.	Justificación Económica.....	13
1.5.	Objetivos.....	14
1.5.1.	Objetivo General.....	14
1.5.2.	Objetivos Específicos	14
1.6.	Hipótesis.....	15
1.6.1.	Hipótesis general	15
1.6.2.	Hipótesis específicas	15
1.7.	Variables y Operacionalización de variables.....	16
1.8.	Metodología de la Investigación.....	17
1.8.1.	Unidad de Análisis	17
1.8.2.	Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación	17
1.8.3.	Diseño de Investigación.....	17
1.8.4.	Fuentes de Información.....	18
1.8.5.	Población y Muestra.	18

1.8.6.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	19
1.8.7.	Análisis y Procesamiento de Datos.....	19
CAPITULO 2	Marco Teórico Y Marco Conceptual.....	21
2.1.	Bases Teóricas.....	21
2.1.1.	Fundamentos del PMBOK®.....	21
2.1.2.	Áreas de Conocimiento del PMBOK®.....	23
2.1.3.	Los Grupos de Procesos del PMBOK®	44
2.2.	Marco Conceptual.....	46
2.2.1.	Conceptos Fundamentales del Sistema SCADA-BMS.....	46
2.2.2.	Calidad en Proyectos de Construcción	47
2.2.3.	Planificar la Calidad	49
2.2.4.	Pruebas y validación.....	52
CAPITULO 3	DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	59
3.1.	Contexto del Proyecto.....	59
3.1.1.	Descripción General del Proyecto Línea 2 del Metro de Lima.....	59
3.1.2.	Características del Tramo 6 – Etapa 1B	59
3.1.3.	Rol del Sistema SCADA-BMS dentro del Proyecto	60
3.1.4.	Arquitectura e Interconexión del SCADA-BMS con otros Sistemas	62
3.2.	Fase 1: Identificación Situación Actual.....	64
3.2.1.	Problemática general de la gestión de la calidad	64
3.2.2.	Identificación específica de los problemas	65
3.3.	Fase 2: Análisis de las Deficiencias de la Calidad	66
3.3.1.	Enfoque de análisis	66

3.3.2.	Deficiencias por Etapa de la Gestión de la Calidad.....	67
3.4.1.	Objetivo General.....	71
3.4.2.	Enfoque Metodológico de la Propuesta	71
3.4.3.	Planificar la Gestión de la Calidad	72
3.4.4.	Gestionar la Calidad (Aseguramiento – QA).....	73
3.4.5.	Controlar la Calidad (QC)	74
3.4.6.	Plan de Implementación	75
3.4.1.	Indicadores de Éxito y Metas Cuantificada	76
CAPITULO 4 RESULTADOS, CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS Y DISCUSIÓN		
RESULTADOS	78	
	Introducción.....	78
4.1.	Presentación de Resultados	78
4.1.1.	Resultados de la mejorar el cronograma	78
4.1.2.	Resultados de reducir el costo.....	79
4.1.3.	Desempeño en Calidad y Productividad	80
4.2.	Contrastación de Hipótesis	81
4.3.	Discusión de resultados.....	84
	CONCLUSIONES.....	86
	Recomendaciones.....	87

Listas de Tablas

Tabla 1.	<i>Matriz de operacionalización de Variables</i>	16
Tabla 2.	<i>Tabla de correspondencia entre grupos de procesos y áreas de conocimiento PMBOK</i>	22
Tabla 3.	<i>Relación entre Actividades dentro del cronograma</i>	27
Tabla 4.	<i>Tabla de Indicadores principales</i>	34
Tabla 5.	<i>Tabla de contenido típico del Dossier de Calidad</i>	38
Tabla 6.	<i>Ciclo de vida del proyecto</i>	50
Tabla 7.	Definiciones clave para la integración, y fases de prueba (FAT/SAT/SSIT)	53
Tabla 8.	<i>Ciclo de Causa Raíz</i>	70
Tabla 9.	<i>Tabla comparativa entre fase y actividades</i>	75
Tabla 10.	<i>Tabla comparativa de indicadores de éxito</i>	76
Tabla 11.	<i>Tabla comparativa del SPI antes y después de la aplicación del modelo de calidad PMBOK®</i>	79
Tabla 12.	<i>Tabla comparativa del CPI antes y después de la aplicación del modelo de calidad PMBOK®</i>	80
Tabla 13.	<i>Tabla comparativa de calidad antes y después de la aplicación del modelo</i>	80
Tabla 14.	<i>Tabla comparativa de resultado de la propuesta</i>	83

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Grafica de proyección de demanda diaria.....</i>	9
Figura 2	<i>Descripción del proyecto – Mapa por etapas.....</i>	10
Figura 3	<i>Arquitectura del Sistema SCADA BMS.....</i>	11
Figura 4	<i>Procesos de la Gestión del Cronograma según el PMBOK®.....</i>	25
Figura 5	<i>Procesos de la Gestión del Cronograma según el PMBOK®.....</i>	26
Figura 6	<i>Ejemplo de una ruta crítica.....</i>	29
Figura 7	<i>Ejemplo de diagrama de gantt.....</i>	29
Figura 8	<i>Ejemplo de cadena crítica.....</i>	30
Figura 9	<i>Descripción General de la Gestión de la calidad del Proyecto.....</i>	35
Figura 10.	<i>Procesos principales de la gestión de la calidad según el PMBOK® y su relación con el ciclo de mejora continua (PDCA).</i>	39
Figura 11	<i>Interacción entre grupo de procesos y fase.....</i>	44
Figura 12	<i>Ciclo de vida del material y sistema Scada BMS.....</i>	55
Figura 13	<i>Diagrama de bloques del SCADA BMS y sus Interfaces.....</i>	63
Figura 14	<i>EDT SCADA BMS 1B – Tramo.....</i>	72

CAPITULO 1 GENERALIDADES

1.1. Antecedentes Investigativos

Reque Suárez, D. A. (2024)¹ en su tesis titulada "Aplicación de los estándares PMBOK para la mejora de la gestión de la calidad en la fase de ingeniería y construcción de un edificio multifamiliar, Liberty, Lima 2023", se propone evaluar y aplicar los estándares del PMBOK® para mejorar la gestión de la calidad durante la fase de ingeniería y construcción de un edificio multifamiliar en el distrito de Liberty, Lima. El estudio tiene como principal objetivo la identificación de deficiencias en la gestión de la calidad del proyecto y la propuesta de soluciones mediante la implementación de procesos y buenas prácticas conforme al PMBOK®. A través de un análisis exhaustivo, se diagnostica el estado actual de la gestión del proyecto, enfocándose en los aspectos clave de la planificación, ejecución, monitoreo y control de calidad, así como en la coordinación entre equipos de trabajo y subcontratistas. En la investigación se presenta una propuesta de mejora prácticas en la gestión de proyectos estandarizadas, esto con el fin de optimizar en la ejecución, para reducir retrabajos, mejorar la eficiencia de los recursos humanos y materiales, y así también cumplir con los plazos y presupuestos establecidos. La propuesta se validó comparando los procesos actuales con las mejores prácticas, con el respaldo de la opinión de expertos en la gestión de este tipo de proyectos de construcción. El estudio concluye que la implementación de los estándares PMBOK® mejoro sustancialmente la gestión de la calidad, contribuyendo a una reducción significativa de costos, optimización de tiempos y mejor coordinación entre las partes involucradas. Además, se valida que la gestión de la calidad estandarizada permite lograr resultados más predecibles y alineados con los objetivos del proyecto. Este trabajo destaca la importancia de la aplicación de metodologías estructuradas, como el PMBOK®, en la industria de la construcción y establece una base sólida para futuros estudios y proyectos que

¹ Reque Suárez, D. A. (2024). Aplicación de los estándares PMBOK para la mejora de la gestión de calidad en la fase de ingeniería y construcción de un edificio multifamiliar, Liberty, Lima 2023. Tesis de titulación. [Universidad Nacional Federico Villareal]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33462>

busquen mejorar la gestión de la calidad en la construcción de grandes infraestructuras como es de instituciones educativas.

Alvarado Quito K., & Merchán Sánchez, D. (2023)² desarrolló un modelo de gestión basado en la metodología PMBOK® séptima edición para proyectos de construcción de viviendas de interés social en Guayaquil, Ecuador. La investigación evidenció que la aplicación de PMBOK® permitió optimizar procesos internos, reducir incertidumbre y costos, y aumentar la rentabilidad. Entre los resultados destacados se encontraron un VAN positivo de \$3.6 millones, una TIR del 97.79% (superior al 8% del mercado) y un ROA del 75.20%, demostrando la eficacia de esta metodología en la gestión de proyectos constructivos. También se identificó factores críticos como es la planificación estratégica, el control de riesgos (de diferentes tipos) y la gestión de stakeholders, resaltando la importancia de estandarizar procesos y utilizar herramientas propuestos en la guía PMI como el análisis FODA y las 5 Fuerzas de Porter para mitigar imprevistos. Estos diferentes hallazgos respaldan la viabilidad de integrar marcos estandarizados como PMBOK® en proyectos complejos, lo cual resulta relevante para la implementación de sistemas SCADA BMS en infraestructuras como la Línea 2 del Metro de Lima actualmente en construcción, donde la optimización de tiempo, costos y buenas gestión de calidad es fundamental. Los resultados exitosos en construcción masiva (viviendas) sugieren que la metodología puede adaptarse a diversidad de proyectos, mejorando la eficiencia constructiva mediante controles similares de alcance, riesgos y desempeño financiero.

Sumaran Layza & Echevarria Lozano, (2022)³ Estudió y enfocó en la aplicación de la guía PMBOK optimizó la gestión del cronograma, la calidad y los recursos humanos durante la rehabilitación de la I.E. N°80628 en Trujillo. Mediante un enfoque cualitativo y descriptivo,

² Alvarado Quito, K., & Merchán Sánchez, D. (2023). Modelo de gestión para proyectos de construcción basado en la metodología PMBOK. Caso: producción masiva de viviendas de interés social. *Universidad Y Sociedad*, 15(6), 344–354. [Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil-UTEG]. Recuperado a partir de <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/4152>

³ Echeverría Lozano, G. M., & Sumaran Layza, R. (2022). Aplicación de la guía PMBOK para mejorar la gestión del cronograma, calidad y recursos humanos en la rehabilitación de la I.E. N°80628, Trujillo 2022. [Universidad Privada del Norte].

el estudio exploró de qué manera los procesos previamente estandarizados influyeron en la planificación, el control y los resultados finales del proyecto. Los hallazgos mostraron que adoptar los lineamientos del PMBOK no solo permitió cumplir con los plazos previstos y asegurar la calidad de la obra, sino que también fortaleció la coordinación entre equipos y ya que también relaciona recursos humanos dentro de su variable. Esta mejora en la comunicación facilitó la resolución temprana de imprevistos y elevó la eficiencia operativa general. Un liderazgo adecuado y una organización clara del equipo de trabajo contribuyeron a optimizar los recursos disponibles y alcanzar las metas planteadas. En cuanto al control de calidad, se implementaron herramientas PMBOK como inspecciones periódicas y registro de no conformidades, lo que ayudó a identificar y corregir fallas a tiempo, evitando retrasos y reprocesos. Se resalta el valor de aplicar un marco de trabajo estructurado en proyectos de rehabilitación, especialmente cuando se busca mejorar tanto los procesos internos como los resultados finales entregados.

Correa Villamizar, et al.(2022)⁴ Analizan un problema recurrente en Bogotá: los constantes retrasos y sobrecostos en proyectos de infraestructura vial. Basándose en cifras de la Contraloría de la ciudad, los investigadores evidencian cómo esta situación ha ido en aumento. Su trabajo cuestiona si la metodología de planificación tradicional, aún predominante en este tipo de obras, resulta adecuada para manejar la creciente complejidad y dinamismo que caracterizan los proyectos viales actuales. Con un enfoque mixto, se analizan variables cualitativas y cuantitativas relacionadas con el cumplimiento de los cronogramas y presupuestos, identificando factores que influyen en los atrasos y sobrecostos. Además, se realiza un análisis comparativo de metodologías ágiles, específicamente Scrum y Kanban, y su aplicabilidad en la fase de planificación, así como el uso de tecnologías como BIM (Building Information Modeling). Los resultados indican que la

⁴ Correa Villamizar, et al.(2022) Aplicación de metodologías ágiles para la planificación de proyectos de infraestructura vial en Bogotá. Trabajo de Investigación, [Universidad EAN Bogotá]. Repositorio UEAN. <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/73a46193-1f73-4812-af64-e5b3c71d40dc/content>

incorporación de metodologías ágiles en la planificación de proyectos viales puede reducir significativamente los tiempos de búsqueda de información (hasta en un 60%), los retrasos en la ejecución (hasta en un 85%) y los conflictos durante la obra (en un 79%), además de mejorar la eficiencia y el control del presupuesto. La investigación concluye que la adopción de metodologías ágiles y herramientas tecnológicas en la etapa de planificación puede optimizar la gestión, reducir los costos y facilitar el cumplimiento de los plazos establecidos, contribuyendo así a una infraestructura vial más eficiente y alineada con las necesidades de desarrollo de Bogotá.

Paz T. Julio E. Eden, (2024)⁵ La tesis titulada "Diseño e Implementación de un Sistema SCADA para el monitoreo remoto de variables de flujo, presión y nivel en estaciones de bombeo y reservorios de agua en la ciudad de Trujillo" presenta el desarrollo de un sistema automatizado para la supervisión y control de las variables críticas en la infraestructura de abastecimiento de agua en Trujillo, Perú. El proyecto se basa en la norma VDI 2206 y contempla etapas desde la identificación de requerimientos técnicos y funcionales, diseño mecánico y eléctrico, hasta la implementación de la red de comunicación mediante protocolos como Modbus, señal 4-20 mA, VPN y GPRS. El sistema permite la visualización en tiempo real de variables clave, así como el análisis de datos históricos, con una latencia promedio de conexión de 160 a 1852 ms. La solución contribuye a mejorar la gestión y eficiencia del servicio de agua potable en la ciudad mediante monitoreo remoto y alertas tempranas, facilitando decisiones oportunas y optimización de recursos.

Sifuentes Villarroel (2024)⁶ Se presenta un análisis detallado sobre la aplicación de metodologías y buenas prácticas en el desarrollo de soluciones BMS. Su investigación se centra en estrategias recomendadas para el diseño, implementación y gestión de estos

⁵ Paz T. Julio E. (2024). Diseño e Implementación de un Sistema SCADA para el monitoreo remoto de variables de flujo, presión y nivel en estaciones de bombeo y reservorios de agua en la ciudad de Trujillo [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio UNT.

⁶ Sifuentes Villarroel L. (2024) Aplicación de metodologías y buenas prácticas en el desarrollo de soluciones BMS. [Trabajo de Suficiencia, Universidad de Lima]. Repositorio ULIMA. https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/22228/T018_46725761_T.pdf?sequence=1

sistemas en edificaciones complejas como hospitales, centros comerciales y plantas industriales. El autor sostiene que el éxito en este campo descansa sobre dos pilares fundamentales: la capacidad técnica y la gestión efectiva. Desde el punto de vista técnico, subraya la importancia de integrar de manera coherente sistemas electromecánicos críticos como climatización, iluminación o gases medicinales, mediante el uso de diagramas de entidad-relación, programación estructurada y plataformas que aseguren interoperabilidad y escalabilidad. En el ámbito de la gestión, Sifuentes V. resalta la necesidad de aplicar metodologías probadas, como PMBOK®, para planificar, ejecutar y controlar proyectos BMS, garantizando así el cumplimiento de plazos y objetivos. Además, el estudio enfatiza que el aprendizaje continuo y la conducta ética son esenciales para fomentar la innovación y asumir una responsabilidad profesional en el sector. El trabajo combina buenas prácticas con una sólida base técnica y gerencial permite desarrollar soluciones BMS eficientes, seguras y adaptadas a cada proyecto, lo que se traduce en un uso más racional de los recursos y en una optimización de los sistemas que beneficia directamente al usuario final.

Chunga Rojas, et al., (2023)⁷ El presente trabajo de investigación se enmarca en la línea de gestión de proyectos, específicamente en la optimización de procesos mediante la incorporación de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial y las metodologías de gestión de proyectos según el estándar del PMBOK® sexta edición. Un antecedente relevante es un estudio realizado en 2023, que propuso la implementación de una herramienta de inteligencia artificial para mejorar la gestión de la calidad en el proceso de exportación en una asociación de productores de banano orgánico en Querecotillo. Este trabajo, de carácter correlacional y de alcance transversal, utilizó técnicas cuantitativas, incluyendo encuestas y cuestionarios validados mediante juicio de expertos, para determinar la relación entre la gestión de la calidad y los procesos productivos, concluyendo que la integración de la

⁷ Chunga Rojas, et al., (2023) Propuesta de proyecto de implementación de una herramienta de inteligencia artificial para la gestión de la calidad según el pmbok® sexta edición en el proceso de exportación en una asociación de productores de banano orgánico en querecotillo, en el año 2023. [Tesis de Posgrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio UTP. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/9441/E.Chunga_A.Cong_H.Miranda_Tra_bajo_de_Investigacion_Maestria_2024.pdf?sequence=1&isAllowed=y

inteligencia artificial genera una correlación significativa que favorece la mejora continua en la gestión. Este enfoque de investigación refleja la tendencia actual en la aplicación de tecnologías innovadoras para optimizar procesos productivos y de gestión en distintos sectores económicos, especialmente en aquellos que requieren de un control riguroso y eficiente, como la agricultura y la industria alimentaria. La utilización del método del PMI permite estructurar y gestionar proyectos de innovación tecnológica de manera eficiente, garantizando la alineación de los objetivos estratégicos con la ejecución operativa. La experiencia del estudio mencionado destaca la importancia de validar las herramientas tecnológicas mediante métodos estadísticos y el juicio experto, asegurando así la pertinencia y efectividad de las soluciones propuestas.

Berenguel Felices, (2021)⁸ Desarrolló un estudio orientado al análisis de los proyectos ejecutados bajo la modalidad de contrato llave en mano, abordando los aspectos técnicos, administrativos y de gestión que caracterizan este tipo de contratación. En su trabajo, el autor explica que en la modalidad turnkey el contratista asume la responsabilidad integral del diseño, suministro, construcción, instalación y puesta en marcha, garantizando la entrega de la obra totalmente operativa y en cumplimiento de las especificaciones establecidas por el cliente. La investigación destaca que este esquema contractual permite una mayor integración entre las etapas de ingeniería, procura y construcción, favoreciendo la eficiencia en los plazos y la coordinación de los recursos; sin embargo, también enfatiza los riesgos que conlleva la concentración de responsabilidades en un solo contratista, especialmente en el control de costos, cumplimiento de estándares de calidad y gestión de riesgos técnicos. El aporte de Berenguel Felices radica en describir cómo el contrato llave en mano se convierte en una herramienta eficaz para la ejecución de proyectos complejos de infraestructura,

⁸ Berenguel Felices, F. (2021). El contrato Llave en mano, una propuesta metodológica para determinar su aplicación en infraestructuras públicas en España [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio UPM https://oa.upm.es/67637/1/FRANCISCO_BERENGUEL_FELICES.pdf

siempre que se acompañe de una adecuada planificación, supervisión y control durante todas las fases del proyecto.

Montalvo Delgado, R. et al. (2014)⁹ En esta investigación se evaluó la implementación del sistema de gestión de la calidad en el proyecto de construcción de la Línea 1 Tramo 2 del Metro de Lima, siguiendo los lineamientos de la guía PMBOK. Se observó que, aunque en su mayoría el proyecto cumplió con los estándares de calidad requeridos, se identificaron deficiencias que afectaron la ejecución del proyecto. Estas deficiencias fueron principalmente en áreas como la gestión de tiempos, costos y recursos humanos, lo que llevó a retrasos y sobrecostos. A partir de este diagnóstico, los autores propusieron la integración de los procesos del PMBOK en la planificación y ejecución del proyecto, lo que permitiría una mayor eficiencia y reducción de fallas. Este enfoque busca optimizar los recursos, garantizar la calidad y cumplir con los plazos establecidos. La implementación del PMBOK proporcionaría una mejora en la coordinación y en la efectividad de los equipos de trabajo, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos del proyecto y la satisfacción de los interesados. En conclusión, la tesis demuestra que la aplicación del PMBOK mejora significativamente la gestión de la calidad, destacando la importancia de realizar una evaluación continua y una adecuada implementación de los estándares de calidad a lo largo de las fases del proyecto. El contrato de concesión del Proyecto “Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao” Proinversión (2014)¹⁰ establece con precisión los alcances y exigencias técnicas que debe cumplir el concesionario en relación con los estudios y el desarrollo del proyecto. En particular, se señala que el Estudio Definitivo de Ingeniería (EDI) debe contener como mínimo memoria descriptiva, identificación de interferencias, memoria de cálculo, especificaciones técnicas, cronogramas detallados, planilla de metrados y

⁹ Montalvo Delgado, R. et al. (2014) Análisis de la gestión de la calidad en el Metro de Lima - Línea 1 Tramo 2 bajo los estándares generales de la guía del PMBOK . [Trabajo de tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. Repositorio UPC <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/623311>

¹⁰ Proinversión. (2014). Contrato de Concesión del Proyecto “Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao”. Agencia de Promoción de la Inversión Privada – Proinversión, Lima, Perú.

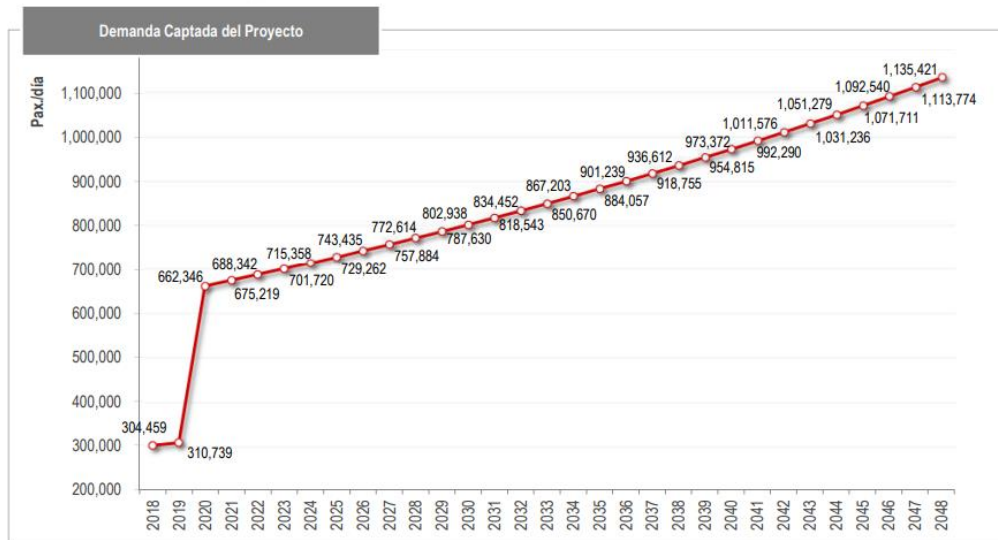
diagramas de ruta crítica (Proinversión, 2014, p. 224). Estos requerimientos contractuales constituyen un marco obligatorio que condiciona la planificación y ejecución del sistema SCADA-BMS, pues aseguran que el proyecto se ejecute bajo lineamientos estandarizados de calidad y control. Sin embargo, la experiencia de implementación en proyectos ferroviarios en el Perú ha demostrado que, a pesar de la existencia de estas disposiciones contractuales, los retrasos en el cronograma y la desviación de costos persisten debido a deficiencias en la gestión de la calidad y a una falta de alineación sistemática con metodologías internacionales como el PMBOK®. De este modo, la realidad problemática no solo se origina en aspectos técnicos, sino también en la insuficiente integración de las prácticas de gestión de la calidad con los procesos de planificación, supervisión y control que demanda un contrato de “llave en mano”.

1.2. Identificación y Descripción del problema de Estudio.

El proyecto integral de la Línea 2 del Metro de Lima, actualmente en ejecución, constituye una de las obras de transporte público más importantes del país. Este sistema ferroviario subterráneo conectará los distritos de Ate, Santa Anita y El Callao, transformándose en un eje estructural de la movilidad urbana de la capital. Debido a su relevancia, el proyecto fue declarado de necesidad pública e interés nacional tras los estudios de demanda desarrollados por ProInversión (2013), los cuales evidenciaron la necesidad de un sistema de transporte masivo, moderno y sostenible para Lima Metropolitana y el Callao.

Figura 1

Grafica de proyección de demanda diaria



Nota: Recuperado de la Memoria Informativa de la licitación del proyecto Línea 2 - Reinversión (2013)

El Metro de Lima representa no solo un avance en infraestructura de transporte, sino también un motor de desarrollo económico, social y ambiental, al promover la reducción de emisiones, el ahorro de tiempo de traslado y la inclusión territorial. Dentro del alcance del proyecto, la Etapa 1A ya se encuentra culminada; por ello, la presente investigación se enfoca en el Tramo 6 – Etapa 1B, que posee una longitud aproximada de 3.5 km e incluye tres estaciones —Vista Alegre (E25), Prolongación Javier Prado (E26) y Municipalidad de Ate (E27)—, además de dos pozos de ventilación (PV26 y PV27).

Figura 2

Descripción del proyecto – Mapa por etapas



Nota: Recuperado de la Concesionaria Línea 2

El Tramo 6 tiene como objetivo integrar las zonas urbanas del este de Lima con el resto del sistema ferroviario subterráneo, garantizando la conectividad continua y la eficiencia operativa del conjunto de estaciones y túneles. En este contexto, el sistema SCADA-BMS (Supervisory Control and Data Acquisition – Building Management System) desempeña un papel crítico dentro del proyecto, al constituir la plataforma central de supervisión y control de los subsistemas esenciales que permiten la operación segura y eficiente del metro.

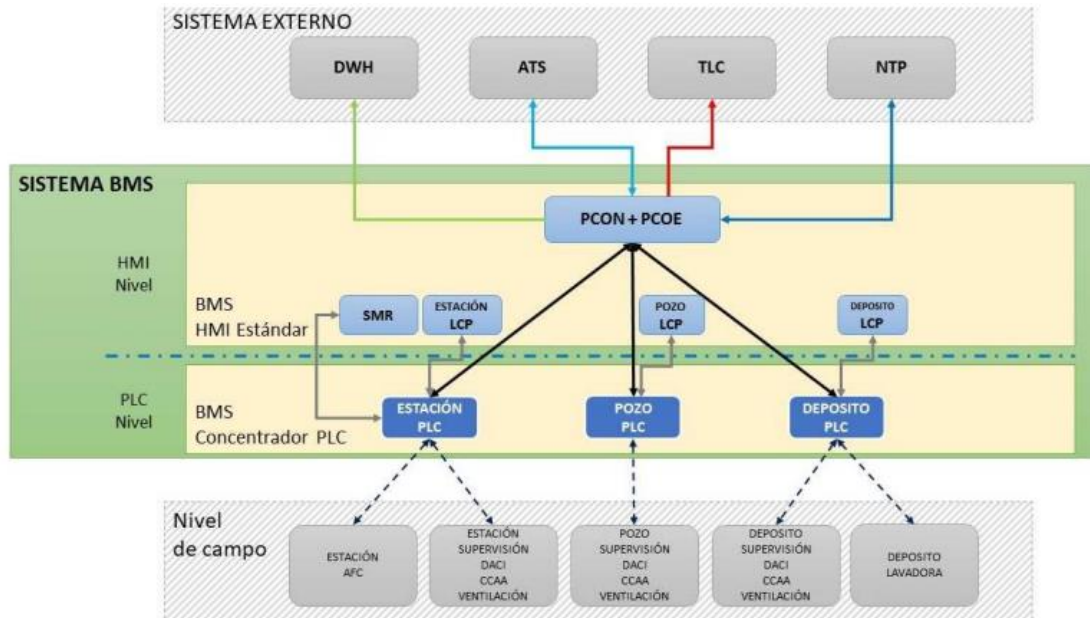
Entre los principales subsistemas gestionados por el SCADA-BMS se encuentran:

- Electricidad: supervisión y control de subestaciones, tableros y distribución eléctrica.
- Climatización (HVAC): regulación y monitoreo de la temperatura y ventilación en estaciones y túneles.
- Telecomunicaciones (ATS, TLC): administración de redes de comunicación, transmisión de datos y control remoto.
- Control de acceso (AFC, DACI): gestión automatizada del ingreso de pasajeros y personal autorizado.

- Ventilación y seguridad (CCAA): control de presiones diferenciales, detección de incendios y evacuación de humos.

Figura 3

Arquitectura del Sistema SCADA BMS



Nota: Recuperado del Estudio Definitivo de Ingeniería (EDI-20 SCADA-BMS) aprobado.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿De qué manera la gestión de la calidad basada en el PMBOK® permite mejorar el cronograma y reducir los costos del proyecto llave en mano del sistema SCADA-BMS de la Línea 2 del Metro de Lima?

1.3.2. Problemas Específicos

1. ¿De qué manera la planificación de la calidad influye en la mejora del cronograma del proyecto SCADA-BMS?
2. ¿Cómo el aseguramiento de la calidad permite la reducción de costos del proyecto?

3. ¿En qué medida el control de la calidad permite disminuir los retrabajos y desvíos presupuestales?

1.4. Justificación e importancia de la investigación.

La presente investigación aporta valor en múltiples dimensiones —tecnológica, social y económica— al buscar optimizar un sistema clave para el funcionamiento del Metro de Lima Línea 2, garantizando tanto la eficiencia del proyecto como el cumplimiento de los más altos estándares de calidad. A continuación, se presentan los principales argumentos que respaldan la relevancia de este estudio.

1.4.1.1. Justificación Tecnológica

El sistema SCADA-BMS desempeña un papel central en la automatización y control de infraestructuras modernas, especialmente en un proyecto de gran escala como el Metro de Lima. Su implementación en la Línea 2 está vinculada directamente con el progreso tecnológico aplicado a la gestión eficiente de recursos y al mejoramiento de los procesos constructivos. La aplicación de buenas prácticas del PMBOK® en la gestión de calidad asegura que la planificación, ejecución y seguimiento se lleven a cabo con un enfoque técnicamente sólido, lo que a su vez favorece una toma de decisiones más efectiva.

- Avance en automatización: Este estudio contribuye a fortalecer la gestión de calidad mediante el uso de tecnologías avanzadas en SCADA-BMS, permitiendo un control más preciso de las operaciones del metro y mejorando su rendimiento general.
- Optimización de procesos y recursos: La integración del PMBOK® facilitará la aplicación de estándares internacionales a lo largo del ciclo de vida del proyecto, asegurando la correcta implementación de sistemas tecnológicos de última generación.
- Innovación en infraestructuras urbanas: La puesta en marcha de estos sistemas en el Metro de Lima sienta un precedente tecnológico que podría replicarse en

otros proyectos de transporte público en Perú y la región, impulsando el desarrollo de infraestructuras urbanas inteligentes.

Impacto esperado: Aumentar la eficiencia operativa, minimizar fallos del sistema y garantizar un control adecuado de las instalaciones, lo que se traducirá en una infraestructura pública mejor gestionada.

1.4.2. Justificación Social

El proyecto SCADA-BMS impacta directamente en la calidad de vida de los ciudadanos al mejorar el servicio de transporte público, optimizar los tiempos de viaje y contribuir a una ciudad más sostenible. Socialmente, esta investigación se justifica porque la correcta implementación del sistema no solo moderniza la infraestructura del metro, sino que asegura un servicio más confiable y seguro para los usuarios.

- Servicio público mejorado: La implementación exitosa del SCADA-BMS permitirá un funcionamiento más eficiente y seguro del metro, reduciendo tiempos de espera y mejorando la experiencia del usuario.
- Seguridad ciudadana: Un sistema de control automatizado con monitoreo en tiempo real incrementa la seguridad del transporte, previniendo accidentes y fallos operativos que podrían afectar a los pasajeros.
- Sostenibilidad ambiental: La optimización en el uso de recursos, especialmente energéticos, mediante sistemas tecnológicos avanzados, contribuye a reducir el impacto ambiental, alineándose con los objetivos de desarrollo urbano sostenible.

Impacto esperado: Mejorar la calidad de vida de la población mediante un transporte público eficiente y seguro, en sintonía con los objetivos de desarrollo urbano sostenible.

1.4.3. Justificación Económica

La adecuada implementación del sistema SCADA-BMS en la Línea 2 del Metro de Lima tiene importantes implicancias económicas, tanto inmediatas como futuras. Al optimizar procesos y recursos mediante las mejores prácticas del PMBOK®, se anticipa una reducción

sustancial de costos, tiempos y retrabajos, beneficiando tanto al presupuesto del proyecto como a la economía nacional.

- Control de costos: La aplicación de los procesos del PMBOK® mejora la gestión presupuestaria, la planificación eficiente y el uso óptimo de recursos, previniendo sobrecostos y retrasos. Esto resulta crucial en proyectos de infraestructura donde el control financiero determina el éxito económico.
- Eficiencia operativa: Un sistema SCADA-BMS bien implementado reduce costos operativos a largo plazo gracias a la automatización de procesos y el monitoreo continuo, logrando mayor eficiencia energética y menores gastos de operación.
- Desarrollo económico: La mejora en la infraestructura de transporte genera empleo tanto durante la construcción como en la operación del sistema, impactando positivamente en la economía local. Además, un metro eficiente estimula la actividad económica al mejorar la conectividad y reducir costos de transporte.

Impacto esperado: Aportar a la sostenibilidad económica del proyecto, asegurando su rentabilidad a largo plazo mediante una gestión adecuada de costos y la mejora en la eficiencia operativa, resultando en un uso más racional de los recursos públicos.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar cómo la gestión de la calidad basada en el PMBOK® contribuye a mejorar el cronograma y reducir los costos del proyecto llave en mano del sistema SCADA-BMS de la Línea 2 del Metro de Lima.

1.5.2. Objetivos Específicos

1. Analizar la situación actual de la gestión de la calidad en el sistema SCADA-BMS de la Línea 2.
2. Diseñar un modelo de gestión de la calidad basado en los lineamientos del PMBOK®.

3. Evaluar el efecto del modelo propuesto sobre el cronograma y los costos del proyecto.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

La propuesta de gestión de la calidad basado en PMBOK® mejora el cronograma y reduce los costos del proyecto llave en mano del sistema SCADA-BMS de la Línea 2 del Metro de Lima.

1.6.2. Hipótesis específicas

1. Una adecuada planificación de la calidad mejora el cumplimiento del cronograma del proyecto.
2. El aseguramiento de la calidad reduce la variabilidad en la ejecución y optimiza los costos.
3. El control de la calidad disminuye los retrabajos y sobrecostos.

1.7. Variables y Operacionalización de variables

Tabla 1.

Matriz de operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
VI: Gestión de la calidad basada en el PMBOK®	Conjunto de procesos, políticas y actividades descritos en la Guía del PMBOK® que permiten garantizar que el proyecto cumpla con los requisitos de calidad establecidos. Se orienta a la planificación, aseguramiento, control y mejora continua de los procesos y entregables, con el fin de evitar retrabajos, optimizar recursos y asegurar la satisfacción del cliente.	Se medirá a través de la aplicación efectiva de los procesos de gestión de la calidad del PMBOK® en el proyecto SCADA-BMS: identificación de estándares, implementación de controles, realización de auditorías y acciones de mejora. Se evaluará mediante encuestas, revisión documental y análisis de reportes técnicos del proyecto	Planificación de la calidad.	Actividades planificadas con criterios de calidad definidos.
			Aseguramiento de la calidad.	Auditorías realizadas
			Control de la calidad.	No conformidades
D1: Optimización del cronograma	Grado en que las actividades del proyecto se ejecutan conforme a los tiempos establecidos en el cronograma base, garantizando la entrega oportuna de los hitos planificados. Refleja la optimización en la programación y control de tareas dentro del marco temporal definido.	Se medirá a partir de los registros de avance físico y los reportes de control de cronograma del proyecto SCADA-BMS. Se utilizarán indicadores como el porcentaje de cumplimiento del cronograma, la variación de plazos y el índice de desempeño del cronograma (SPI).	Cumplimiento del cronograma	% de cumplimiento de hitos programados. SPI (Schedule Performance Index).
VD2: Reducción de costo	Nivel de control y eficiencia con que se administran los recursos financieros del proyecto, asegurando la ejecución dentro del presupuesto aprobado y reduciendo sobrecostos por fallas, retrabajos o ineficiencias.	Se medirá mediante la comparación del presupuesto planificado y los costos reales de ejecución, considerando sobrecostos y retrabajos reportados. Se evaluará con indicadores financieros del proyecto y el índice de desempeño de costos (CPI).	Control de Costos (CPI)	Variación de costos (planificado vs real). CPI (Cost Performance Index).

1.8. Metodología de la Investigación.

1.8.1. Unidad de Análisis

La unidad de análisis corresponde al proyecto llave en mano del sistema SCADA-BMS del Tramo 6 de la Línea 2 del Metro de Lima. Se consideran los actores involucrados en la planificación, aseguramiento, control y mejora de la calidad, tales como supervisores, gestores de calidad, contratistas y subcontratistas.

1.8.2. Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación

1.8.2.1. Tipo de investigación

Aplicada. Esta investigación busca resolver problemas prácticos en la gestión de la calidad del proyecto SCADA-BMS y generar una propuesta metodológica basado en el PMBOK.

1.8.2.2. Enfoque

Se utiliza un enfoque mixto:

- Cualitativo, para interpretar percepciones, prácticas de aseguramiento de calidad y factores que inciden en el desempeño del proyecto.
- Cuantitativo, para medir cronograma (% de actividades cumplidas), costos (variación de costos, sobrecostos) y calidad (no conformidades, retrabajos).

1.8.2.3. Nivel de Investigación

El nivel es descriptivo–correlacional:

- Descriptivo, porque analiza cómo se implementa la gestión de la calidad según el PMBOK®.
- Correlacional, porque busca identificar la relación entre la gestión de la calidad (VI) y el desempeño del proyecto (VD: cronograma y costos).

1.8.3. Diseño de Investigación.

El diseño es no experimental y transversal:

- No experimental, porque no se manipulan variables, sino que se observan en su contexto natural.

- Transversal, porque se estudian los datos en un periodo específico (ejecución del Tramo 6, 2023–2025).

1.8.4. Fuentes de Información.

Para llevar a cabo esta investigación se emplearán dos tipos de fuentes de información:

1.8.4.1. Fuentes primarias

- Entrevistas semiestructuradas a gestores de calidad, jefes de proyecto y supervisores de obra.
- Encuestas aplicadas a técnicos y profesionales involucrados en la implementación del sistema SCADA-BMS.
- Observación directa de actividades críticas y de procesos de control de calidad en campo.

1.8.4.2. Fuentes secundarias

- Documentación del Proyecto: Planes, cronogramas (MS Project), actas de reuniones y reportes técnicos del Proyecto Ferroviario de la Línea 2 de Lima. Se partirá del cronograma de proyecto ya aprobado para evaluar las optimizaciones logradas.
- Normas y estándares de referencia: PMBOK® Guide (PMI, 2021), ISO 9000:2015, ISO 9001:2015.
- Informes de auditoría interna y externa de calidad.
- Publicaciones académicas y técnicas sobre gestión de la calidad en proyectos de infraestructura.

1.8.5. Población y Muestra.

- Población: Todos los actores involucrados en el proyecto SCADA-BMS tramo 6 de la Línea 2 del Metro de Lima.
- Muestra: Un grupo de subcontratistas, supervisores y gestores de calidad involucrados en el proyecto.

1.8.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

1.8.6.1. Encuestas

Aplicadas a personal técnico y administrativo del proyecto, con ítems diseñados en base a las dimensiones de la VI (planificación, aseguramiento, control, mejora continua) y las VD (cronograma y costos).

1.8.6.2. Entrevistas:

Semiestructuradas, aplicadas a gestores de calidad, jefes de proyecto, supervisores y responsables de sistemas electromecánicos, con el propósito de profundizar en la comprensión de las prácticas, dificultades y estrategias de mejora aplicadas en la gestión de la calidad del proyecto.

1.8.6.3. Observación:

Se utilizó la técnica de observación directa no participante, realizada durante las fases de instalación, integración y pruebas del sistema SCADA-BMS en el Tramo 6 de la Línea 2. El propósito fue verificar in situ el cumplimiento de los procedimientos de calidad, la trazabilidad de los registros y la interacción entre equipos técnicos y de supervisión.

1.8.7. Análisis y Procesamiento de Datos

1.8.7.1. Estadística descriptiva

Se empleará para analizar frecuencias, promedios y desviaciones estándar de los datos recolectados en encuestas y registros del proyecto.

1.8.7.2. Modelos predictivos

Se utilizarán técnicas de análisis de regresión lineal y modelos de correlación para identificar el impacto de la gestión de la calidad (VI) en las variables de desempeño (VD1: cronograma y VD2: costos).

1.8.7.3. Pruebas de hipótesis

Se aplicarán pruebas estadísticas (Chi-cuadrado, t de Student o ANOVA, según corresponda) para validar las hipótesis planteadas respecto a la relación entre gestión de la calidad y desempeño del proyecto.

1.8.7.4. Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación

a. Selección

Los instrumentos (encuestas, entrevistas y listas de verificación) se elaboraron a partir de la operacionalización de variables (Anexo B).

b. Validación

Se realizará mediante juicio de expertos, quienes revisarán la pertinencia, claridad y relevancia de cada ítem.

c. Confiabilidad

Se aplicará una prueba piloto con un grupo reducido de participantes, y se calculará el coeficiente Alfa de Cronbach para encuestas, con el fin de verificar la consistencia interna de los instrumentos.

CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL

2.1. Bases Teóricas

2.1.1. Fundamentos del PMBOK®

El Project Management Body of Knowledge (PMBOK) es una guía y marco referente de estándar global de gestión de proyectos que establece un conjunto de prácticas, herramientas y técnicas utilizadas por profesionales en la dirección de proyectos. Este marco se utiliza para asegurar que los proyectos sean gestionados de manera eficaz y eficiente a lo largo de todas sus fases, desde el inicio hasta el cierre (PMI, 2017).

2.1.1.1. Historia y la evolución del PMBOK®

El Project Management Body of Knowledge (PMBOK®) constituye un referente internacional elaborado por el Project Management Institute (PMI), en el que se recopilan las prácticas, herramientas y técnicas más reconocidas en la disciplina de la gestión de proyectos. Sus orígenes se remontan a 1987, cuando el PMI difundió el informe *Ethics, Standards, and Accreditation*, documento que marcó el inicio de un marco común de conocimiento. Posteriormente, en 1996, se publicó la primera edición formal de la Guía del PMBOK® como documento de exposición (ANSI/PMI 99-001-2008), consolidando un lenguaje unificado y una estructura metodológica para los directores de proyectos en todo el mundo (PMI, 2017). Desde entonces, el PMBOK® ha evolucionado de manera constante para adaptarse a los cambios en la gestión moderna de proyectos. A lo largo de sus distintas ediciones —desde la segunda en el año 2000 hasta la séptima en 2021—, ha incorporado enfoques ágiles, híbridos y adaptativos, ampliando su visión más allá de los procesos para incluir principios y dominios de desempeño. Además, se ha armonizado con estándares internacionales, reforzando su pertinencia ante los desafíos actuales. Esta evolución demuestra la capacidad del estándar para mantenerse vigente en contextos complejos y multidisciplinarios, como la implementación de sistemas SCADA-BMS en megaproyectos de infraestructura (PMI, 2021).

2.1.1.2. Principios del PMBOK®

En el presente estudio se analizan los grupos de procesos y sus respectivas áreas de conocimiento de acuerdo con el PMBOK®, dado que constituyen la base conceptual sobre la que se desarrolla esta investigación.

Tabla 2.

Tabla de correspondencia entre grupos de procesos y áreas de conocimiento PMBOK

Áreas de Conocimiento	Grupo de Procesos de Inicio	Grupo de Procesos de Planificación	Grupo de Procesos de Ejecución	Grupo de Procesos de Monitoreo y Control	Grupo de Procesos de Cierre
4. Gestión de la Integración del Proyecto	4.1 Desarrollar el Acta de Constitución del Proyecto	4.2 Desarrollar el Plan para la Dirección del Proyecto	4.3 Dirigir y Gestionar el Trabajo del Proyecto 4.4 Gestionar el Conocimiento del Proyecto	4.5 Monitorear y Controlar el Trabajo del Proyecto 4.6 Realizar el Control Integrado de Cambios	4.7 Cerrar el Proyecto o Fase
5. Gestión del Alcance del Proyecto		5.1 Planificar la Gestión del Alcance 5.2 Recopilar Requisitos 5.3 Definir el Alcance 5.4 Crear la EDT/WBS		5.5 Validar el Alcance 5.6 Controlar el Alcance	
6. Gestión del Cronograma del Proyecto		6.1 Planificar la Gestión del Cronograma 6.2 Definir las Actividades 6.3 Secuenciar las Actividades 6.4 Estimar la Duración de las Actividades 6.5 Desarrollar el Cronograma		6.6 Controlar el Cronograma	
7. Gestión de los Costos del Proyecto		7.1 Planificar la Gestión de los Costos 7.2 Estimar los Costos 7.3 Determinar el Presupuesto		7.4 Controlar los Costos	
8. Gestión de la Calidad del Proyecto		8.1 Planificar la Gestión de la Calidad	8.2 Gestionar la Calidad	8.3 Controlar la Calidad	
9. Gestión de los Recursos del Proyecto		9.1 Planificar la Gestión de Recursos 9.2 Estimar los Recursos de las Actividades	9.3 Adquirir Recursos 9.4 Desarrollar el Equipo 9.5 Dirigir al Equipo	9.6 Controlar los Recursos	
10. Gestión de las Comunicaciones del Proyecto		10.1 Planificar la Gestión de las Comunicaciones	10.2 Gestionar las Comunicaciones	10.3 Monitorear las Comunicaciones	
11. Gestión de los Riesgos del Proyecto		11.1 Planificar la Gestión de los Riesgos 11.2 Identificar los Riesgos 11.3 Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos 11.4 Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos 11.5 Planificar la Respuesta a los Riesgos	11.6 Implementar la Respuesta a los Riesgos	11.7 Monitorear los Riesgos	
12. Gestión de las Adquisiciones del Proyecto		12.1 Planificar la Gestión de las Adquisiciones	12.2 Efectuar las Adquisiciones	12.3 Controlar las Adquisiciones	
13. Gestión de los Interesados del Proyecto	13.1 Identificar a los Interesados	13.2 Planificar el Involucramiento de los Interesados	13.3 Gestionar la Participación de los Interesados	13.4 Monitorear el Involucramiento de los Interesados	

Nota: (PMBOK 6ta, p592)

2.1.2. Áreas de Conocimiento del PMBOK®

Los principios definidos en la Guía del PMBOK® (séptima edición) representan el marco ético y actitudinal que orienta las decisiones y comportamientos dentro de los proyectos. A diferencia de un conjunto rígido de normas, estos principios actúan como guías universales y autoaplicables, válidas para cualquier tipo de proyecto, entorno o metodología.

Para los propósitos de esta investigación, se destacan los siguientes principios:

1. Actuar con integridad, respeto y diligencia.
2. Orientar todos los esfuerzos hacia la generación de valor.
3. Gestionar de forma proactiva el compromiso de las partes interesadas.
4. Ejercer un liderazgo efectivo
5. Fomentar la adaptación y la resiliencia.
6. Implementar una mejora continua en los procesos.

La aplicación coherente de estos principios resulta esencial para enfrentar los desafíos identificados en el proyecto SCADA-BMS, como la coordinación entre disciplinas, la mitigación de retrasos y el aseguramiento de la calidad. Este marco ofrece una base ética y estratégica que respalda una ejecución más sólida, coherente y eficiente.

2.1.2.1. Gestión de la Integración del Proyecto

Las áreas de conocimiento representan dimensiones especializadas que sustentan la práctica efectiva de la dirección de proyectos. Cada una comprende procesos, herramientas, entradas, salidas y técnicas particulares que, en conjunto, contribuyen al logro integral de los objetivos del proyecto. Su aplicación coordinada es indispensable para optimizar variables críticas como el tiempo, los costos, la calidad y la reducción de retrabajos (PMI, 2017). En el caso específico de la mejora de la gestión de calidad del sistema SCADA-BMS, estas áreas resultan clave para asegurar la eficiencia global del proyecto.

2.1.2.2. Gestión del Alcance

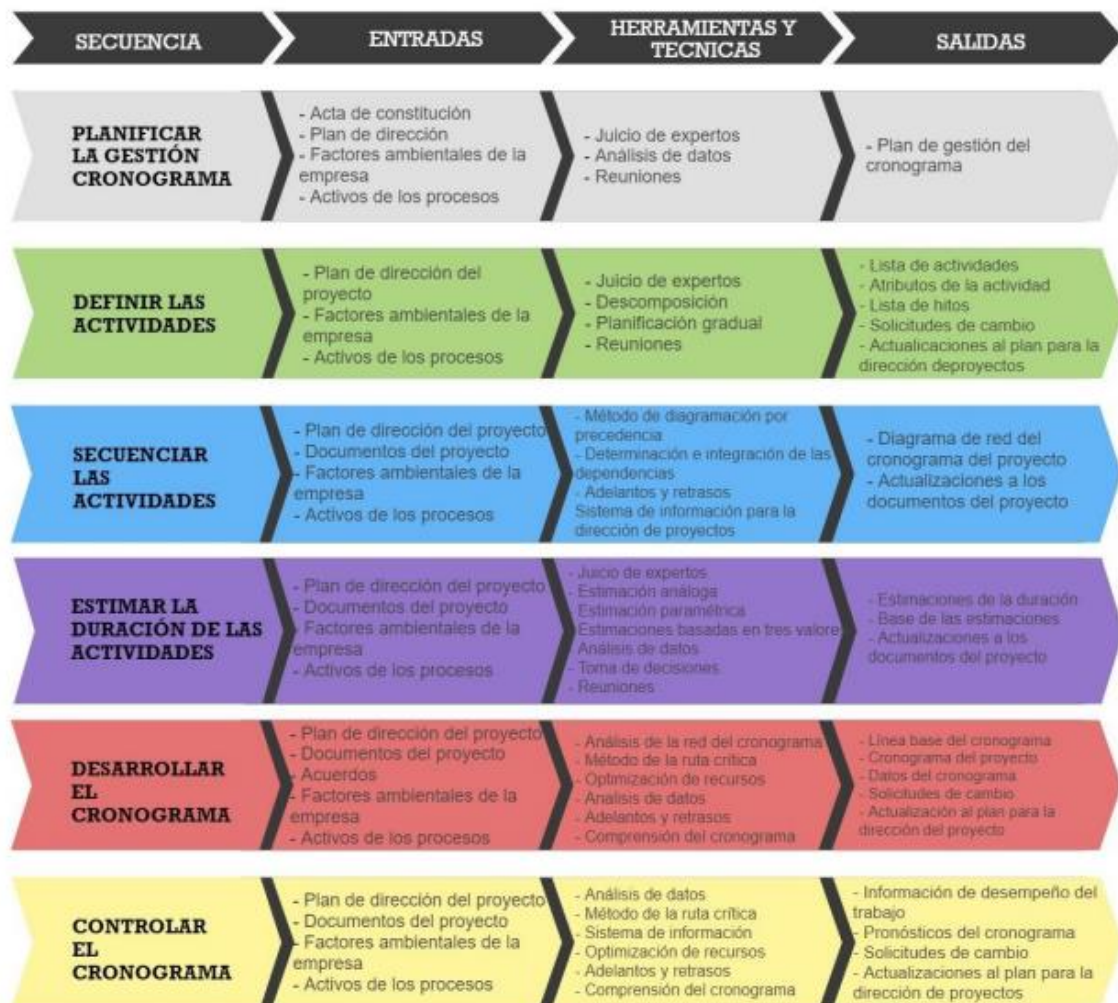
Esta área abarca los procesos necesarios para garantizar que el proyecto incluya todo el trabajo indispensable —y únicamente ese— para alcanzar sus objetivos con éxito. Una adecuada definición y control del alcance evita la denominada scope creep (expansión incontrolada del alcance), una de las causas más frecuentes de sobrecostos y retrasos. Entre los procesos principales se encuentran la planificación y definición del alcance, la elaboración de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) y la validación y control del mismo (PMI, 2017). En proyectos complejos como el SCADA-BMS, una delimitación clara del alcance es la base para reducir interferencias, optimizar la coordinación y minimizar los retrabajos.

2.1.2.3. Gestión del Cronograma

La Gestión del Cronograma comprende los procesos destinados a planificar, desarrollar, administrar y controlar la ejecución oportuna de las actividades del proyecto. Su propósito es asegurar que las tareas se realicen dentro de los plazos previstos, permitiendo al equipo de gestión medir el rendimiento y aplicar medidas correctivas de manera proactiva.

Figura 4

Procesos de la Gestión del Cronograma según el PMBOK®



Nota: (PMI, 2021)

1. Planificar la Gestión del Cronograma

Este proceso define las políticas, lineamientos y procedimientos que regulan la planificación, desarrollo y control del cronograma. Su principal producto es el Plan para la Dirección del Cronograma, el cual incluye:

- La metodología y herramientas a emplear (MS Project, Primavera P6, etc.).
- La estructura de codificación de actividades.
- La unidad de medida (días calendario, jornadas, semanas).
- Los criterios de control y actualización.

- Los responsables del seguimiento y reporte de avances.
- Las tolerancias y márgenes de control de tiempo aprobados.

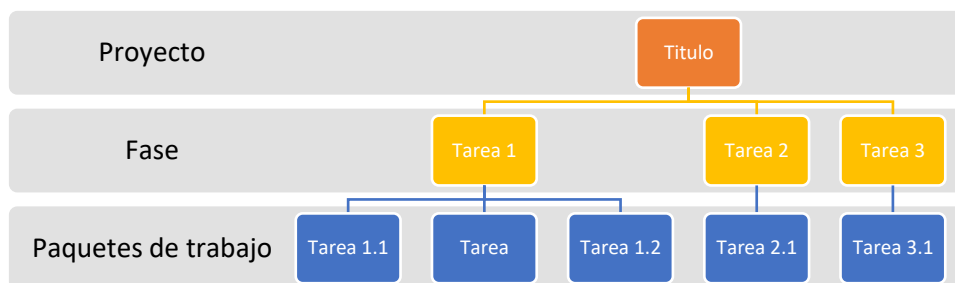
En proyectos electromecánicos y de infraestructura, como el SCADA-BMS, este plan constituye la base para sincronizar las labores de ingeniería, adquisición, instalación y pruebas FAT/SAT/SIT, garantizando coherencia entre disciplinas y paquetes de trabajo.

2. Definir las Actividades

Este proceso consiste en identificar y documentar las acciones concretas necesarias para producir los entregables del proyecto. A partir de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), los paquetes de trabajo se subdividen en actividades específicas, medibles y controlables, permitiendo una gestión más precisa del tiempo y los recursos.

Figura 5

Procesos de la Gestión del Cronograma según el PMBOK®



Nota: Elaboración propia, Según los lineamientos de PMI

Para realizar la actividad este debe tener un nombre claro, duración estimada, responsable y entregable asociado. El resultado de este proceso es el Listado de Actividades, acompañado de atributos como:

- Identificador y nombre de la actividad.
- Descripción y responsable.
- Duración estimada y recursos asignados.
- Relación con entregables.

- Restricciones, suposiciones y tipo (actividad u hito).

Los hitos representan eventos clave, como “Aprobación del diseño SCADA”, “Inicio de instalación de tableros eléctricos” o “Pruebas FAT/SAT concluidas”.

3. Secuenciar las Actividades

Una vez definidas todas las actividades se ordenan estableciendo sus dependencias y/o relaciones lógicas. El resultado de este proceso es el Diagrama de Red del Cronograma, que muestra el flujo y precedencia entre actividades, y permite calcular rutas críticas y holguras.

Las relaciones de dependencia más comunes son:

Tabla 3.

Relación entre Actividades dentro del cronograma

Tipo de relación	Descripción	Ejemplo
Fin a Comienzo (FC)	La actividad sucesora inicia cuando finaliza la predecesora.	Instalar cableado (A) → Configurar PLC (B).
Comienzo a Comienzo (CC)	Ambas actividades inician al mismo tiempo o con desfase.	Fabricar paneles (A) → Ensamblar tableros (B).
Fin a Fin (FF)	La sucesora finaliza cuando termina la predecesora.	Pruebas en campo (A) → Entrega de informe (B).
Comienzo a Fin (CF)	La sucesora finaliza cuando comienza la predecesora (rara vez usada).	Cambio de turno o supervisión.

Nota: Elaboración propia, información del PMI)

Además, se identifican actividades predecesoras y sucesoras, lo que permite modelar el flujo de trabajo y establecer hitos (puntos de control relevantes como “Inicio de pruebas FAT” o “Energización del sistema”). Stsepanets (2021) afirma que un hito es un evento realmente significativo en un proyecto que se usa para medir los progresos o el éxito del proyecto y mostrar mas sobre los objetivos planteados

4. Estimar la Duración de las Actividades

Este proceso determina la cantidad de períodos de trabajo requeridos para completar cada actividad, considerando los recursos disponibles, productividad y rendimientos.

Los principales métodos utilizados son:

- Estimación análoga: basada en la experiencia o proyectos similares.
- Estimación paramétrica: basada en tasas de producción (por ejemplo, metros de cable por día).
- Estimación ascendente: suma de duraciones detalladas de subactividades.
- Técnica PERT: emplea tres escenarios (optimista T_0 , probable T_p y pesimista T_-):

$$T_e = \frac{T_0 + 4T_p + T_-}{6} \quad (1)$$

El resultado de este proceso es la estimación de duración de cada actividad, expresada en días o semanas, que alimenta el desarrollo del cronograma.

5. Desarrollar el Cronograma

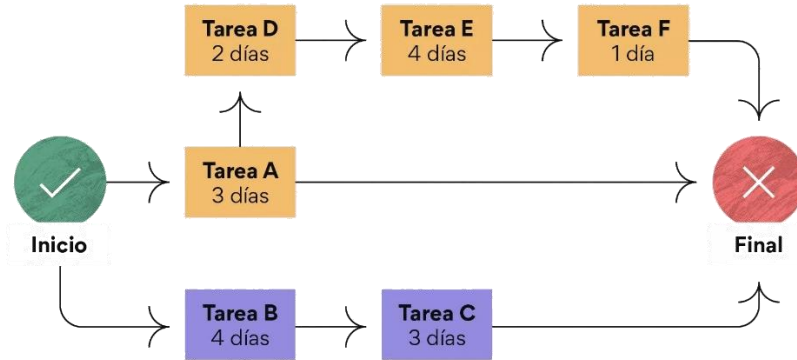
Implica integrar las actividades, sus secuencias, duraciones y recursos para crear el cronograma del proyecto.

Las principales herramientas incluyen:

- Método de la Ruta Crítica (CPM – Critical Path Method): identifica la secuencia más larga de actividades que determina la duración total del proyecto. Las actividades en la ruta crítica tienen holgura total igual a cero.

Figura 6

Ejemplo de una ruta crítica

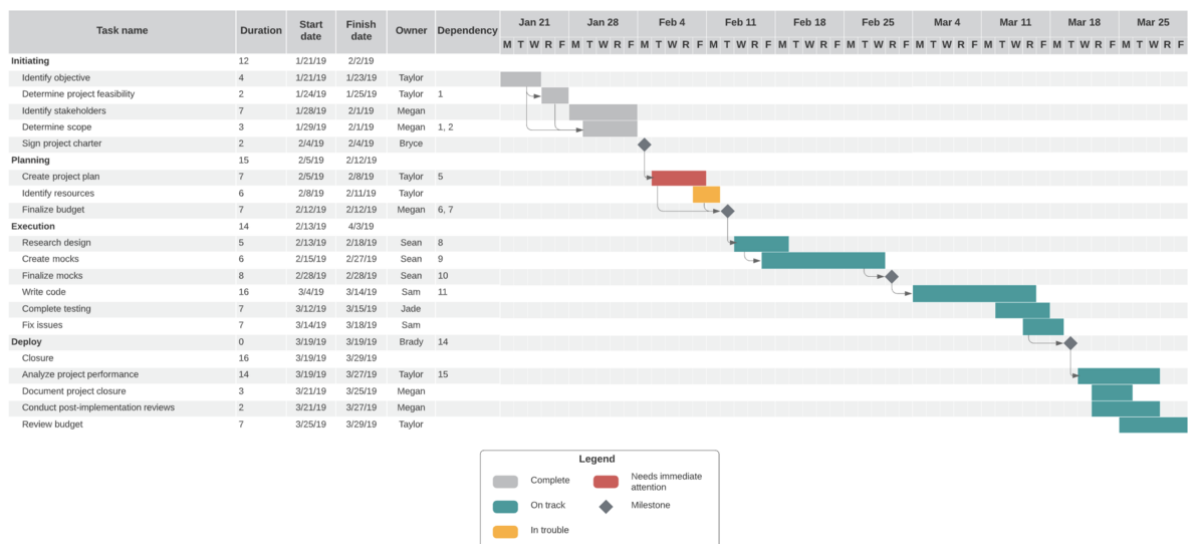


Nota: Assana

- Diagrama de Gantt: representa gráficamente la programación de actividades a lo largo del tiempo, facilitando la comunicación visual del avance.

Figura 7

Ejemplo de diagrama de gantt

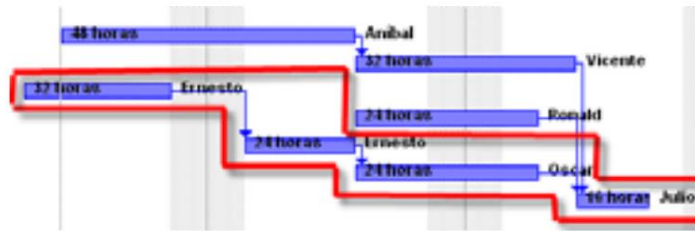


Nota: Lucidchat

- Método de la Cadena Crítica (CCM): incorpora márgenes de seguridad (buffers) para compensar variaciones en la disponibilidad de recursos.

Figura 8

Ejemplo de cadena critica



Nota: Praxis Framework

El resultado clave es la Línea Base del Cronograma, documento aprobado que sirve como referencia para medir y controlar el desempeño temporal del proyecto.

Se definen además las holguras:

- Holgura total: tiempo máximo que puede retrasarse una actividad sin afectar la fecha de finalización del proyecto.
- Holgura libre: tiempo que puede retrasarse una actividad sin afectar el inicio de su sucesora inmediata.

El análisis de holguras permite priorizar los recursos y gestionar los riesgos de atraso en la ruta crítica.

6. Controlar el Cronograma

El control del cronograma consiste en monitorear el estado del proyecto, identificar desviaciones respecto a la línea base y aplicar acciones correctivas o preventivas.

Se utilizan técnicas de análisis del valor ganado (EVM) para medir el desempeño temporal:

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (2)$$

donde:

SPI (Schedule Performance Index) = Índice de desempeño del cronograma.

EV (Earned Value) = Valor ganado.

PV (Planned Value) = Valor planificado.

donde *SPI* (Schedule Performance Index) indica la eficiencia temporal ($SPI > 1$ = adelanto, $SPI < 1$ = retraso).

El proceso de control incluye, además:

- Actualización del avance físico.
- Revisión de las holguras y hitos.
- Gestión de solicitudes de cambio de cronograma a través del CCB (Change Control Board).
- El control continuo del cronograma permite detectar tempranamente desviaciones en el proyecto SCADA-BMS, evitando retrasos acumulativos que afecten la puesta en marcha del sistema.

2.1.2.4. Gestión de los Costos

Comprende los procesos involucrados en planificar, estimar, presupuestar, financiar, gestionar y controlar los costos, de modo que el proyecto se complete dentro del presupuesto aprobado. El control de costos, a través de técnicas como el Valor Ganado (EVM), es fundamental para monitorear el desempeño y prever desviaciones, permitiendo acciones correctivas para cumplir con la meta de reducción de costos planteada (PMI, 2017).

1. Planificar la Gestión de los Costos

Este proceso establece los procedimientos, criterios y herramientas para gestionar los costos del proyecto de forma sistemática. El resultado principal es el Plan para la Dirección de los Costos, que define:

- La metodología de estimación (análogo, paramétrico, ascendente o tres puntos).
- Las unidades de medida (por ejemplo: horas-hombre, metros lineales, kilogramos, etc.).

- El nivel de precisión requerido en los cálculos.
- Las reglas de control del valor ganado (EVM).
- Los umbrales de variación aceptables y los procedimientos de control de cambios financieros.

En proyectos EPC, este plan permite integrar el cronograma y el presupuesto, de manera que cada actividad tenga un costo asociado que pueda ser medido y controlado durante la ejecución.

2. Estimar los Costos

Consiste en desarrollar una aproximación monetaria de los recursos necesarios para completar las actividades del proyecto. Se incluyen los costos directos (materiales, mano de obra, equipos) y los indirectos (gestión, supervisión, administración, seguros, etc.).

Las principales técnicas de estimación son:

- Estimación análoga: basada en proyectos anteriores similares (útil en etapas tempranas).
- Estimación paramétrica: aplica relaciones matemáticas entre variables, por ejemplo: costo por metro de cable instalado o costo por estación automatizada.
- Estimación ascendente: calcula los costos desde el nivel más bajo (actividades) y los agrupa por paquetes de trabajo de la EDT.
- Estimación por tres puntos (PERT-Costo): combina escenarios optimista, probable y pesimista para reducir la incertidumbre:

$$C_e = \frac{C_o + 4C_m + C_p}{6} \quad (3)$$

El resultado de este proceso es el Estimado de Costos y su base de estimación, donde se documentan los supuestos, márgenes y condiciones económicas.

En el caso del sistema SCADA-BMS, la estimación se enfoca en costos de ingeniería, adquisición de equipos electrónicos (PLC, servidores, HMI), materiales eléctricos y cableado de control, instalación, pruebas y puesta en marcha.

3. Determinar el Presupuesto

Este proceso consiste en agregar los costos estimados de las actividades o paquetes de trabajo para establecer la línea base de costos (*Cost Baseline*), que sirve como referencia para medir el desempeño financiero del proyecto.

La línea base de costos incluye:

- Costos directos e indirectos.
- Contingencias por riesgos identificados.
- Reservas de gestión para imprevistos mayores.
- Flujos de desembolsos proyectados en el tiempo (curva “S” de costos).

La ecuación general del presupuesto total del proyecto se expresa como:

$$\begin{aligned} \text{Presupuesto Total} &= \text{Costos Directos} + \text{Costos Indirectos} && (4) \\ &+ \text{Reservas de Contingencia} + \text{Reservas de Gestión} \end{aligned}$$

En proyectos de infraestructura ferroviaria, la determinación del presupuesto está estrechamente vinculada al cronograma, generando el plan de desembolsos (*cash flow*) según los hitos de ejecución: diseño, instalación, pruebas FAT/SAT y entrega del sistema.

4. Controlar los Costos

El control de los costos tiene como objetivo monitorear el desempeño financiero del proyecto, identificar variaciones respecto a la línea base y aplicar medidas correctivas.

La técnica más empleada es el Análisis del Valor Ganado (EVM – Earned Value Management), que permite evaluar el progreso en términos de tiempo y costo simultáneamente.

Los principales indicadores son:

Tabla 4.

Tabla de Indicadores principales

Indicador	Fórmula	Interpretación
CV (Cost Variance)	$CV = EV - AC$	> 0 ahorro, < 0 sobrecosto.
SV (Schedule Variance)	$SV = EV - PV$	> 0 adelanto, < 0 retraso.
CPI (Cost Performance Index)	$CPI = EV / AC$	< 1 indica sobrecostos.
SPI (Schedule Performance Index)	$SPI = EV / PV$	< 1 indica retraso.

Donde:

- **EV (Valor Ganado):** valor presupuestado del trabajo ejecutado.
- **PV (Valor Planificado):** valor presupuestado del trabajo programado.
- **AC (Costo Real):** gasto incurrido en el trabajo ejecutado.

Un control eficiente de los costos permite tomar decisiones oportunas, emitir solicitudes de cambio al comité CCB y actualizar las proyecciones de costo final (*Estimate at Completion – EAC*).

5. Importancia en Proyectos de Construcción y Automatización

En proyectos de construcción electromecánica como el SCADA-BMS de la Línea 2 del Metro de Lima, la gestión de costos adquiere una importancia estratégica por tres razones:

- a. Alta variabilidad de precios de materiales eléctricos y electrónicos importados.
- b. Dependencia del avance físico, ya que el pago por hitos está condicionado al cumplimiento de entregables técnicos.
- c. Impacto contractual, pues la modalidad *llave en mano (EPC)* obliga a mantener el equilibrio entre costo, tiempo y calidad sin comprometer la rentabilidad.

Por ello, la integración entre los procesos de gestión del cronograma y gestión de costos es fundamental: el control simultáneo mediante indicadores SPI y CPI permite medir la eficiencia integral del proyecto y anticipar riesgos financieros.

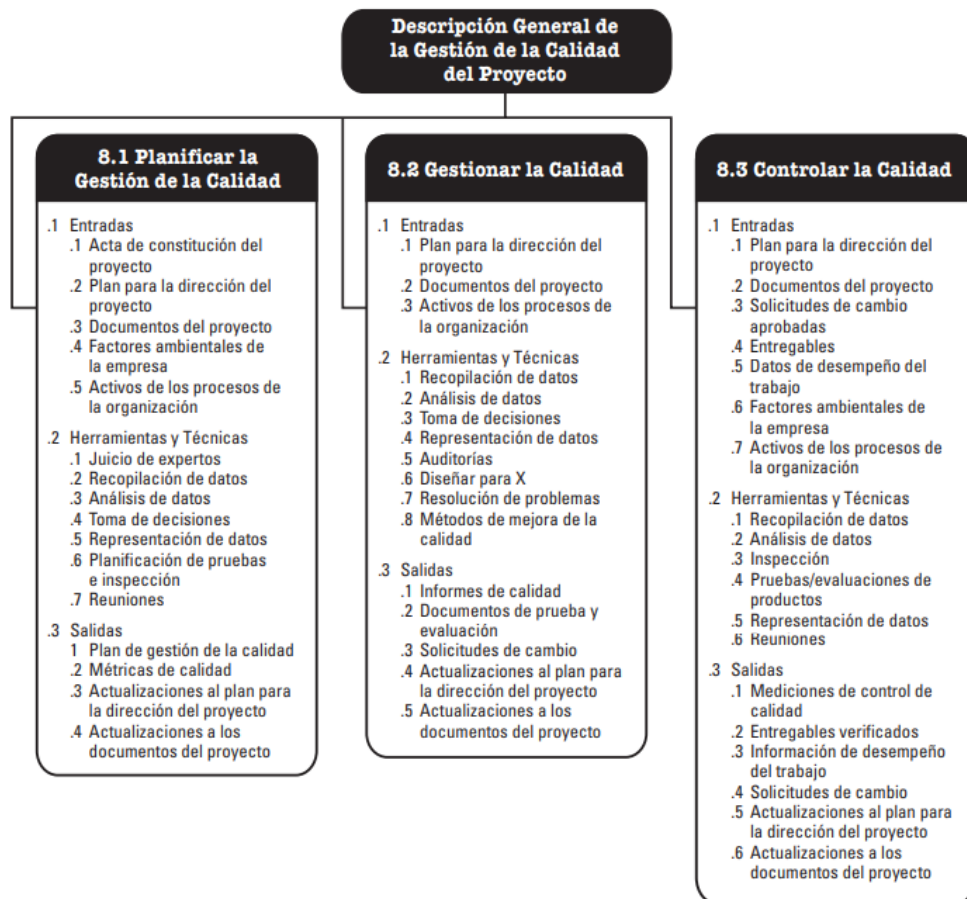
2.1.2.5. Gestión de la Calidad

Esta área se enfoca en los procesos y actividades de la organización que determinan las políticas, objetivos y responsabilidades de calidad, de modo que el proyecto

satisfaga las necesidades para las cuales fue emprendido. Incluye la planificación, gestión y control de la calidad. La aplicación de sus procesos (como el uso de diagramas de flujo, brainstorming y diagramas de Pareto) es directamente la Variable Independiente central de esta tesis, destinada a mejorar los estándares de instalación, reducir no conformidades y, por ende, minimizar los retrabajos, impactando directamente en la Variable Dependiente de eficiencia (PMI, 2017).

Figura 9

Descripción General de la Gestión de la calidad del Proyecto



Nota: (PMI, 2017)

1. Planificar la Gestión de la Calidad

Consiste en identificar los requisitos y estándares de calidad aplicables al proyecto y sus entregables, y documentar cómo se demostrará su cumplimiento.

El resultado de este proceso es el Plan de Gestión de la Calidad, que forma parte del Plan para la Dirección del Proyecto e incluye:

- Estándares de calidad aplicables como los siguientes: ISO 9001:2015, IEC, NEC, NFPA, EDI – ing del proyecto, especificaciones del MTC y ATU.
- Métricas de calidad: tolerancias, niveles de aceptación, desempeño de equipos, tasas de error o retrabajo.
- Responsabilidades y procedimientos QA/QC.
- Formatos de inspección, ensayos y control documental.
- Procesos de auditoría y gestión de no conformidades.

2. Garantizar la Gestionar la Calidad (Aseguramiento de la Calidad)

Este proceso busca asegurar que el proyecto utilice las metodologías y procedimientos adecuados para alcanzar los estándares de calidad establecidos desde las etapas tempranas de la planificación. A diferencia del control de calidad, que se enfoca en verificar los resultados finales, el aseguramiento de la calidad (Quality Assurance – QA) se orienta hacia la prevención de cara al futuro, evaluando que las prácticas de gestión, supervisión, ejecución sean eficaces y estén alineadas con lo definido en el Plan de Gestión de la Calidad. En el marco del PMBOK® Sexta Edición (PMI, 2017), este proceso incluye la revisión y auditoría de todos los métodos, herramientas, procedimientos y controles, con el fin de garantizar que la organización del proyecto mantenga una correcta trazabilidad técnica y documental completa, entre ellas:

- Auditorías internas y externas del sistema QA/QC, para verificar la conformidad con normas ISO 9001:2015, IEC, NEC, NFPA y especificaciones del Estudio Definitivo de Ingeniería (EDI).
- Revisión y aprobación de planos, diagramas y especificaciones técnicas antes de su ejecución, con visado formal por parte de la Supervisión.
- Supervisión de los procesos constructivos y de instalación de los sistemas eléctricos, mecánicos, electrónicos y de control.

- Validación de procedimientos de instalación, pruebas y puesta en servicio (FAT/SAT).
- Capacitación técnica continua al personal operativo y de calidad en normativas de seguridad, control y documentación.
- Uso de herramientas digitales de trazabilidad, como bases de datos QA/QC, checklists electrónicos, y software de gestión documental (por ejemplo, Aconex, Procore, o módulos QA de Primavera P6).

El resultado principal de este proceso es la mejora de los procesos de ejecución, lo que reduce la variabilidad, mejora la coherencia entre disciplinas y fortalece la confiabilidad de los entregables finales.

A. Plan de Calidad del Proyecto

El Plan de Calidad (Quality Plan) es el documento rector del aseguramiento, en el que se establecen las estrategias, procedimientos y responsabilidades para cumplir los requisitos de calidad del contrato.

En un proyecto EPC como el SCADA-BMS, este plan forma parte del Quality Management System (QMS) e incluye:

- a. Objetivos de calidad del proyecto.
- b. Organigrama QA/QC (funciones y responsabilidades).
- c. Listado de documentos y procedimientos aplicables.
- d. Matriz de responsabilidades (RACI) y flujo de aprobación.
- e. Plan de inspección y ensayo (ITP – Inspection and Test Plan), con puntos de control y criterios de aceptación.
- f. Formatos y registros de control, auditorías y no conformidades.
- g. Matriz de trazabilidad entre entregables técnicos, planos y documentos QA/QC.
- h. Plan de auditorías y reuniones de seguimiento.
- i. Gestión del Dossier de Calidad y control documental.

El plan de calidad debe ser aprobado por la Supervisión o Concedente antes del inicio de la ejecución, y es un requisito obligatorio para habilitar los trabajos en campo y las pruebas de sistemas.

B. El Dossier de Calidad

El Dossier de Calidad (Quality Dossier o As-Built Quality File) constituye la evidencia documental final que demuestra que los entregables del proyecto cumplen los requisitos técnicos, contractuales y normativos establecidos.

Este documento es indispensable para el cierre del proyecto y la aceptación final del sistema, siendo parte del hito de entrega de cada subsistema (eléctrico, HVAC, comunicaciones, SCADA, etc.).

Tabla 5.

Tabla de contenido típico del Dossier de Calidad

Sección	Contenido principal
Documentación general	Portada, índice, lista de documentos, plano de distribución y descripción del sistema.
Plan de Calidad aprobado	Versiones aprobadas del Plan QA/QC, ITP y matrices de trazabilidad.
Certificados de materiales y equipos	Fichas técnicas, certificados de conformidad, pruebas de fábrica (FAT).
Registros de inspección y ensayos	Checklists de instalación, protocolos de pruebas SAT, registros de calibración.
No conformidades y acciones correctivas	Reportes NCR, evidencias de cierre y aprobaciones.
Actas de aprobación	Actas de inspección, liberación de trabajos, y aceptación por parte de la Supervisión.
Planos y documentación As-Built	Planos finales actualizados, diagramas de lazos, lógicas de control y arquitectura SCADA.

Nota: (PMBOK 6ta, p592)

Este dossier de calidad se va elaborando o se recomienda que sea de manera progresiva durante el proyecto y su actualización continua evita la acumulación de tareas al final de la obra.

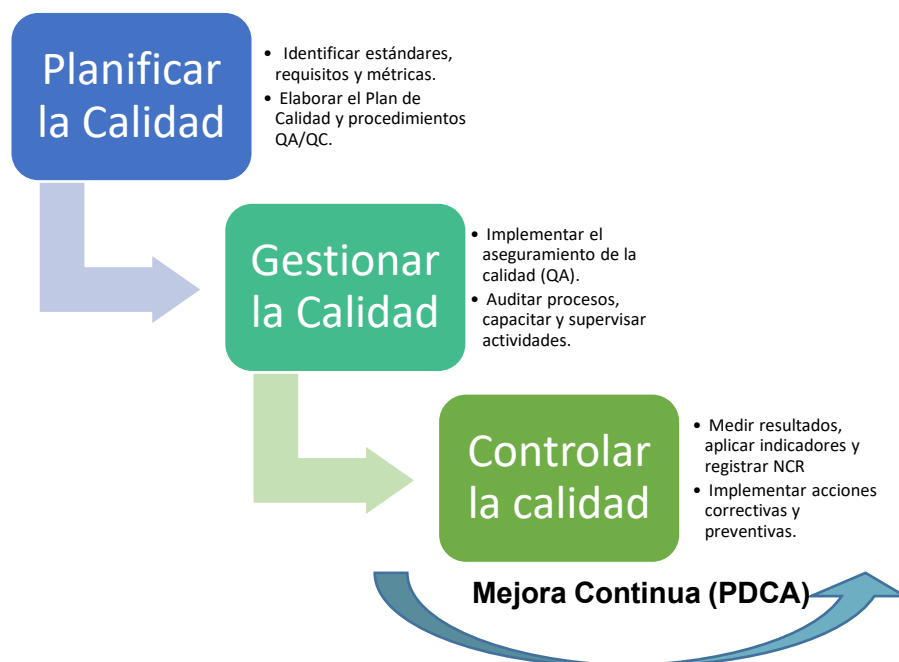
La dificultad es en el cierre del Dossier de Calidad suele deberse a la falta de estandarización de formatos unificación, no hay trazabilidad, dispersión en la información entre subcontratistas y demoras en las aprobaciones por parte de la Supervisión, lo que impacta directamente en el cronograma y en la recepción final del sistema hacia el cliente. Por ello, la gestión eficaz del dossier se considera una actividad estratégica del aseguramiento de la calidad, ya que condiciona el cierre administrativo y contractual del proyecto.

C. Integración del Aseguramiento y la Mejora Continua

El proceso de aseguramiento no finaliza con la entrega del dossier, sino que alimenta el ciclo de mejora continua (PDCA):

Figura 10.

Procesos principales de la gestión de la calidad según el PMBOK® y su relación con el ciclo de mejora continua (PDCA).



Nota: Elaboración propia (2025), a partir del PMBOK

- Plan (Planificar): definir estándares, métricas y procedimientos QA/QC.
- Do (Hacer): ejecutar las actividades con inspecciones programadas.
- Check (Verificar): auditar y revisar la conformidad documental y técnica.
- Act (Actuar): implementar acciones correctivas y actualizar lecciones aprendidas.

La retroalimentación del sistema QA/QC permite reducir errores recurrentes, mejorar la documentación futura y optimizar los tiempos de entrega de los próximos tramos o proyectos similares.

3. Controlar la Calidad

El control de la calidad tiene como objetivo verificar que los entregables cumplan con los requisitos especificados, mediante inspecciones, ensayos, pruebas FAT/SAT, mediciones y auditorías técnicas. Se enfoca en la detección de desviaciones y en la validación de productos terminados.

Entre las herramientas más utilizadas se incluyen:

- Listas de chequeo (checklists) y hojas de verificación.
- Diagramas de causa–efecto (Ishikawa).
- Histogramas y gráficos de control.
- Pruebas FAT (Factory Acceptance Test) y SAT (Site Acceptance Test).
- Registros de No Conformidades (NCR) y Acciones Correctivas (CAR).

El resultado principal de este proceso es la aceptación formal de los entregables, la reducción de reprocesos y la elaboración del Dossier de Calidad, documento que consolida toda la evidencia técnica y contractual del sistema instalado.

4. Conceptos Fundamentales

a) Calidad del Proyecto vs. Calidad del Producto: La calidad del proyecto se refiere al cumplimiento del plan y los procesos establecidos, mientras que la calidad del producto se centra en la conformidad de los entregables técnicos (equipos, software, instalaciones). Ambos son interdependientes.

b) Costo de la Calidad (COQ – Cost of Quality): Incluye los costos de prevención, evaluación y fallas. En un proyecto SCADA-BMS, invertir en prevención (capacitación, revisiones, auditorías) reduce los costos de fallas en pruebas o reprocesos durante la integración del sistema.

c) Mejora Continua: Basada en el ciclo PDCA (*Plan–Do–Check–Act*), busca optimizar los procesos de calidad a lo largo de todo el proyecto. Su aplicación constante garantiza la evolución del sistema QA/QC y la estandarización de buenas prácticas para futuros tramos del Metro.

Importancia en Proyectos EPC (Llave en Mano): En los proyectosz bajo modalidad EPC (Engineering, Procurement and Construction), la gestión de la calidad es un requisito contractual y estratégico. Su correcta aplicación:

- Asegura la trazabilidad técnica y documental.
- Facilita la integración entre disciplinas (civil, eléctrica, electrónica, telecomunicaciones).
- Reduce los retrabajos y los costos asociados.
- Garantiza la aceptación del sistema por parte del cliente o concedente.

En el caso del SCADA-BMS del Metro de Lima, la calidad es un factor crítico que determina la seguridad operativa, la confiabilidad de los sistemas automáticos y la sostenibilidad técnica de toda la red ferroviaria.

5. Calidad según ISO 9000

La norma ISO 9000:2015 define la calidad como el “grado en el que un conjunto de características inherentes de un objeto cumple con los requisitos” (ISO, 2015, p. 18).¹¹

En este sentido, la calidad no se limita únicamente al producto final, sino que abarca también los procesos, servicios y sistemas de gestión que permiten satisfacer las necesidades de los clientes y de las partes interesadas.

¹¹ International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9000:2015 – Quality management systems – Fundamentals and vocabulary*. ISO.

6. Principios de la Gestión de la Calidad

De acuerdo con la norma ISO 9000:2015 y también complementado con el ISO 9001:2015, la gestión de la calidad se sustenta en siete principios fundamentales (ISO, 2015):

1. Enfoque en la satisfacción del cliente: comprender y satisfacer al cliente de las necesidades que ocurren actualmente y futuras.
2. Liderazgo: establecer una unidad de propósito y dirección.
3. Compromiso de las personas: promover la participación y el desarrollo del talento humano.
4. Enfoque a procesos: gestionar las actividades y recursos como procesos interrelacionados.
5. Mejora continua: aplicar un ciclo permanente de aprendizaje y optimización.
6. Toma de decisiones basada en evidencias: sustentar las decisiones en el análisis de datos objetivos.
7. Gestión de las relaciones: mantener vínculos beneficiosos con las partes interesadas.

Estos principios son la base para implementar sistemas de gestión de la calidad y se encuentran también integrados en los enfoques de proyectos propuestos por el Project Management Institute (PMI, 2021).¹²

2.1.2.6. Gestión de los Recursos Humanos

Involucra centra en organizar, dirigir y motivar al equipo de trabajo a lo largo del proyecto. Abarca desde la planificación y selección del personal hasta su desarrollo y coordinación continua. Gestionar bien a las personas es fundamental para mejorar la coordinación entre subcontratistas, delimitar con claridad las funciones de cada quien —

¹² International Organization for Standardization. (2015). ISO 9000:2015 – Quality management systems – Fundamentals and vocabulary. ISO.

Project Management Institute. (2021). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition. PMI.

por ejemplo, mediante matrices de responsabilidades— y promover un entorno colaborativo que minimice los conflictos en campo (PMI, 2017).

2.1.2.7. Gestión de las Comunicaciones

Incluye todos los procesos para asegurar que la información del proyecto se genere, distribuya, almacene y consulte de forma oportuna y ordenada. Mantener una comunicación fluida, apoyada en planes y canales bien definidos, evita demoras en revisiones y aprobaciones, además de favorecer la integración entre todos los participantes del proyecto (PMI, 2017).

2.1.2.8. Gestión de los Riesgos

Consiste en detectar, analizar y actuar de manera anticipada frente a posibles situaciones que puedan impactar los objetivos del proyecto. En el marco de la implementación de sistemas SCADA-BMS, esta disciplina permite prever escenarios como atrasos en la llegada de equipos o dificultades de interoperabilidad, lo que ayuda a preparar respuestas ágiles para reducir su efecto en los plazos, el presupuesto y los estándares de calidad (PMI, 2017).

2.1.2.9. Gestión de las Adquisiciones – Supply Chain

Esta área se ocupa de los procesos para adquirir productos, servicios o recursos externos al equipo del proyecto. Incluye la planificación, ejecución, control y cierre de las compras y contrataciones. Una gestión eficiente de contratos y proveedores es clave para asegurar que fabricantes y subcontratistas respeten las especificaciones técnicas, los niveles de calidad y las fechas comprometidas, lo que a su vez contribuye a evitar retrasos y mejorar la coordinación general (PMI, 2017).

2.1.2.10. Gestión de los Interesados

Se refiere a los procesos para identificar a las personas, grupos u organizaciones vinculadas al proyecto, entender sus expectativas e influencia, y diseñar estrategias que promuevan su involucramiento y apoyo continuo. En proyectos complejos como la instalación de sistemas SCADA-BMS, donde participan múltiples actores —desde fabricantes y supervisores hasta entidades reguladoras—, gestionar proactivamente a los

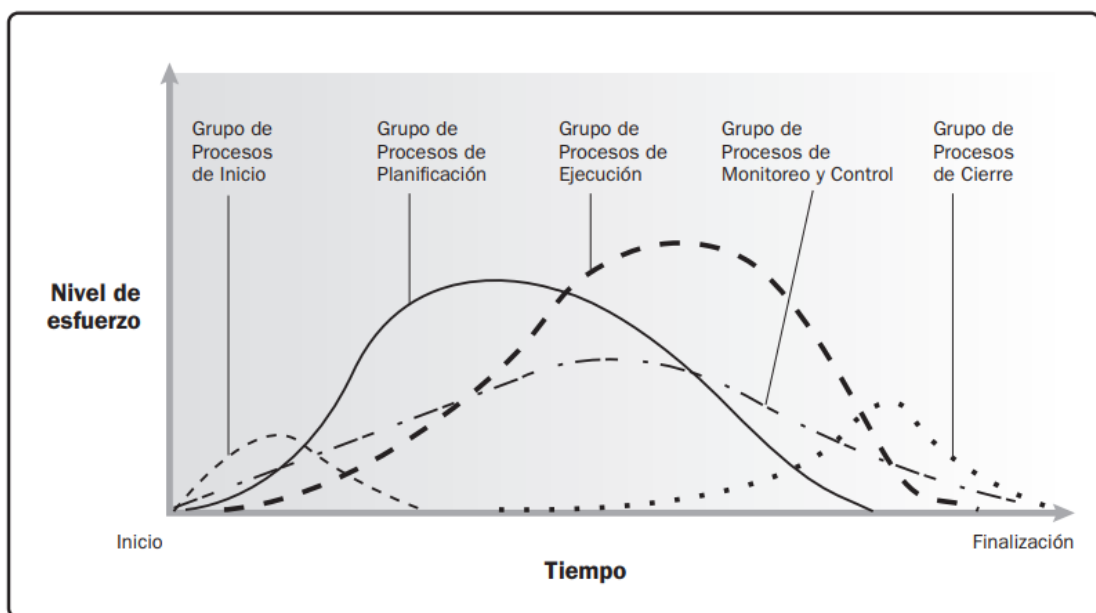
interesados es determinante. Esto implica no solo identificarlos y planificar su participación, sino también comunicarse de forma efectiva, alinear expectativas y verificar su compromiso. Aplicar estos procesos adecuadamente ayuda a prevenir desacuerdos, solucionar conflictos a tiempo y agilizar aprobaciones clave, reduciendo así demoras y construyendo un clima de colaboración (PMI, 2017).

2.1.3. Los Grupos de Procesos del PMBOK®

Los grupos de procesos representan conjuntos de actividades organizadas en fases sucesivas que orientan el desarrollo de un proyecto. A diferencia de las áreas de conocimiento, estos grupos —iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y control, y cierre— reúnen actividades transversales que pueden involucrar varias disciplinas. Aplicarlos de manera adecuada es fundamental para entender cómo la implementación del PMBOK® (Variable Independiente) impacta en la eficiencia global del proyecto (Variable Dependiente), garantizando que cada etapa aporte de forma coherente al logro de los objetivos planteados.

Figura 11

Interacción entre grupo de procesos y fase



Nota: (PMI, 2017)

2.1.3.1. Inicio

Este grupo se define y autoriza un nuevo proyecto o una fase dentro de uno existente. Su propósito central es alinear las expectativas de los interesados con los objetivos del proyecto y dar el visto bueno para arrancar. Los principales entregables de esta etapa son el acta de constitución del proyecto y el registro de interesados (PMI, 2017). En el proyecto SCADA-BMS, un inicio bien conducido asegura que todos los subcontratistas y fabricantes compartan desde el primer momento una misma visión del alcance y las metas.

2.1.3.2. Planificación

El grupo de planificación establece el alcance completo del proyecto, define y ajusta sus objetivos, y diseña la ruta crítica para alcanzarlos. Los procesos de esta fase elaboran el plan para la dirección del proyecto, que integra y consolida todos los planes secundarios —alcance, cronograma, costos, calidad, recursos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones e interesados— (PMI, 2017). Una planificación sólida y detallada, con apoyo de herramientas como la EDT y el cronograma, sienta las bases para cumplir las metas de reducción de tiempos, costos y retrabajos.

2.1.3.3. Ejecución

Este grupo se ocupa de llevar a cabo el trabajo definido en el plan para cumplir con las especificaciones del proyecto. Requiere coordinar equipos y recursos, gestionar la participación de los interesados, e integrar y realizar las actividades planificadas. La calidad de los entregables se materializa directamente en esta fase a través de los procesos de Gestión de la Calidad (PMI, 2017). La eficacia en la ejecución influye directamente en la calidad de la instalación del SCADA-BMS y en la coordinación entre los equipos involucrados.

2.1.3.4. Monitoreo y Control

Este grupo implica supervisar, evaluar y ajustar el avance y desempeño del proyecto; detectar áreas que requieran modificaciones en el plan; y poner en marcha los cambios necesarios. Entre los procesos clave se incluyen el control del alcance, el

cronograma, los costos y la calidad (PMI, 2017). Esta etapa es crucial para medir el rendimiento frente a los indicadores establecidos —como el porcentaje de avance en el cronograma o el número de no conformidades— y tomar acciones correctivas que mantengan el proyecto encaminado hacia sus metas.

2.1.3.5. Cierre

Este grupo de procesos consiste en finalizar todas las actividades a través de todos los grupos de procesos para completar formalmente el proyecto, fase o contrato. Incluye la obtención de la aceptación formal del cliente o sponsor, la finalización de las adquisiciones y la documentación de las lecciones aprendidas (PMI, 2017). Un cierre formal asegura que el sistema SCADA-BMS se entregue conforme a lo especificado y que el conocimiento generado durante el proyecto sea capturado para mejorar iniciativas futuras.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Conceptos Fundamentales del Sistema SCADA-BMS

2.2.1.1. Definición y Componentes

El sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) puede entenderse como el centro nervioso de los grandes procesos industriales. Su función principal es integrar diversas tecnologías para supervisar y controlar operaciones desde un punto centralizado. Está conformado por sensores, actuadores, controladores e interfaces que trabajan de forma conjunta para capturar, transmitir y procesar datos en tiempo real. Gracias a esta estructura, resulta posible automatizar tareas y realizar un control remoto eficiente de múltiples funciones dentro de una instalación. En consecuencia, se ha convertido en uno de los pilares más importantes de la operación industrial contemporánea (Liu, Zhang & Liu, 2017)

2.2.1.2. Funciones clave del Sistema SCADA

Entre las funciones más destacadas del sistema SCADA se encuentran la recopilación continua de información operacional, la supervisión minuciosa de los procesos y la posibilidad de intervenir a distancia para corregir o ajustar el desempeño del sistema.

Esta tecnología no solo permite detectar fallas de manera anticipada, sino que además facilita la elaboración de reportes detallados sobre el rendimiento de los equipos y de la infraestructura en general (Liu et al., 2017).

2.2.1.3. Rol del BMS en las Infraestructuras

El Sistema de Gestión de Edificios (BMS) tiene como finalidad coordinar de forma integral los distintos subsistemas operativos de una edificación, tales como la climatización, la iluminación o la seguridad. A través del seguimiento de variables como la temperatura, la humedad y el consumo energético, el BMS unifica todos estos componentes en una sola plataforma, lo que favorece una administración automatizada, reduce los costos operativos y promueve un desempeño más sostenible (Liu et al., 2017).

2.2.1.4. Integración del SCADA con BMS

La combinación del SCADA y el BMS representa un avance fundamental en la gestión integral de infraestructuras modernas, ya que permite visualizar en tiempo real el comportamiento completo de las instalaciones. Esta interconexión no solo optimiza el consumo energético y disminuye los gastos operativos, sino que también proporciona información estratégica que respalda la toma de decisiones eficientes dentro de la administración de edificios e instalaciones complejas (Zhao et al., 2019).

2.2.2. Calidad en Proyectos de Construcción

2.2.2.1. Definición de Gestión de la Calidad

La gestión de la calidad en el ámbito de la construcción abarca un conjunto de prácticas orientadas a garantizar que los entregables del proyecto cumplan los requisitos establecidos, las normativas aplicables y las expectativas del cliente. De acuerdo con la norma ISO 9000, la calidad se define como el grado en que un conjunto de características inherentes satisface los requisitos previstos (ISO, 2015).

a). Calidad según ISO 9000

La norma ISO 9000 propone una serie de principios fundamentales para asegurar la calidad de los procesos, enfatizando el enfoque al cliente, la mejora continua y la toma

de decisiones basada en evidencia. Estos lineamientos constituyen la base para la aplicación de la calidad dentro de los proyectos de construcción (ISO, 2015).

2.2.2.2. Principios de la Gestión de la Calidad

Los principios rectores de la gestión de la calidad, según la ISO 9000, incluyen la participación activa del personal, el enfoque basado en procesos y la mejora permanente. Estos elementos orientan la implementación de sistemas de calidad sólidos y sostenibles, especialmente en proyectos de construcción de alta complejidad (Goetsch & Davis, 2016).

2.2.2.3. Herramientas de la Gestión de la Calidad

Para administrar la calidad de manera eficaz, se emplean herramientas prácticas que ayudan a identificar, analizar y resolver problemas. Entre las más utilizadas se encuentran el control estadístico de procesos, el análisis de causa raíz, el diagrama de Pareto y la técnica de los cinco porqués. Estos métodos facilitan la detección temprana de desviaciones relacionadas con la calidad y apoyan la toma de decisiones fundamentadas, siempre bajo un enfoque preventivo y de mejora continua (Schwalbe, 2015).

2.2.2.4. Gestión de la Calidad en Proyectos de Construcción complejos

En toda obra de ingeniería, la gestión de la calidad no debe verse como un simple requisito, sino como la base para alcanzar la excelencia. Se trata de un proceso constante que busca garantizar que los resultados finales cumplan con los plazos, los presupuestos y los estándares esperados. Cuando esta gestión se aplica de forma planificada y consciente, aumenta la rentabilidad, minimiza riesgos y eleva la satisfacción del cliente. En última instancia, el equilibrio entre eficiencia y satisfacción es lo que define el verdadero éxito de un proyecto (Juran & Godfrey, 1999).

2.2.2.5. Calidad y Rentabilidad

La gestión de calidad sólida disminuye los costos derivados del retrabajo, mejora la eficiencia operativa y garantiza entregas oportunas, lo que se traduce en mayor rentabilidad para la organización. Además, mantener altos estándares de calidad fortalece la reputación empresarial y mejora la competitividad frente a nuevos contratos y licitaciones (Schwalbe, 2015).

2.2.2.6. Impacto en la Satisfacción del Cliente

Una gestión de calidad efectiva asegura que los resultados del proyecto respondan fielmente a las necesidades del cliente, incrementando su satisfacción y confianza. Los proyectos que priorizan la calidad no solo logran cumplir objetivos técnicos, sino que también fidelizan a los clientes y generan nuevas oportunidades de colaboración futura (Goetsch & Davis, 2016)¹³.

2.2.3. Planificar la Calidad

La organización del proyecto se indica en la tabla de organización siguiente.

El sistema deberá desarrollarse de acuerdo con el siguiente ciclo de vida:

¹³ Goetsch, D. L., & Davis, S. B. (2016). Introduction to total quality management (7th ed.). Pearson Education.

Tabla 6.*Ciclo de vida del proyecto*

Fase	Descripción	Normativa/Estándar Asociado
1. Definición del subsistema	Identificación de los componentes clave del SCADA BMS (ej.: HMI, sensores, módulos de visión artificial).	PMBOK®: <i>Inicio del proyecto.</i>
2. Análisis de requisitos	Recopilación de necesidades funcionales y no funcionales (seguridad, rendimiento).	EN 50128 (Sección 5).
3. Desglose de requisitos	Detalle técnico de cada requisito (ej.: protocolos de comunicación, tolerancia a fallos).	IEC 61508-3.
4. Diseño e implementación	Desarrollo de arquitectura y codificación del software/hardware.	EN 50128 (Sección 6).
5. Fabricación	Producción de componentes físicos y ensamblaje.	Normas ISO 9001.
6. Prueba en fábrica (FAT)	Verificación en entorno controlado (laboratorio).	IEC 62280.
7. Instalación	Despliegue físico en el sitio (estaciones, trenes).	PMBOK®: <i>Ejecución.</i>
8. Prueba en sitio (SAT)	Validación funcional en entorno real.	EN 50128 (Sección 9).
9. Validación del sistema	Confirmación de que cumple con los requisitos del usuario y normativas.	IEC 61508.
10. Operación y mantenimiento	Monitoreo, actualizaciones y corrección de fallos.	ISO 55000.

a. Métricas clave

Cobertura de requisitos (Matriz RTM) = requisitos trazados / requisitos
totales × 100%

Meta: ≥ 98%

Índice de completitud del Plan de Calidad (QP/ITP/OQE) = ítems
entregables definidos / ítems requeridos × 100%

Meta: 100% antes de movilizar obra

Tiempo de aprobación documental (Submittal Lead Time) = días
desde envío a “aprobado”

Meta: ≤ 10 días hábiles (promedio) (5)

Tasa de devoluciones de submittals = submittals devueltos /
submittals enviados × 100%

Meta: ≤ 5%

Cobertura de capacitación = personal crítico capacitado / personal
crítico total × 100%

Meta: 100% (SCADA, HSE, QA/QC)

Disponibilidad objetivo (RAMS): A_obj (p.ej., 99.5% para BMS HMI
estándar; según contrato)

Se fijan metas por subsistema

Quality Gates:

- QG-01 Ingeniería: RTM ≥ 98%, submittals clave “Aprobado”, lista I/O congelada.
- QG-02 Procura: FAT planificado y protocolos codificados, certificados de fábrica.
- QG-03 Obra: checklists de instalación aprobados, personal certificado.
- QG-04 Pruebas: planes FAT/SAT/SIT aprobados, matrices de aceptación y criterios OK.
- QG-05 Cierre: Dossier QA/QC ≥ 95% completitud (ver 4.3).

2.2.4. Pruebas y validación

Un marco de gestión de proyectos que estandariza las mejores prácticas en la industria. Incluye procesos y guías que ayudan a los gerentes de proyectos a llevar a cabo sus tareas de manera eficaz (Project Management Institute, 2021).

El PMBOK® establece marcos estandarizados para la gestión de proyectos, los cuales se alinean con los procesos críticos de desarrollo de sistemas SCADA BMS definidos por la norma EN 50128. La siguiente tabla integra estos conceptos clave, destacando su relación con las fases de prueba industrial (FAT, SAT, SSIT) y los roles asociados en el contexto de la Línea 2 de Lima:

Tabla 7.

Definiciones clave para la integración, y fases de prueba (FAT/SAT/SSIT)

	Término	Descripción	Relación con SCADA BMS
Procesos	Integración	Proceso de ensamblaje de elementos de software/hardware según especificaciones de diseño y arquitectura, incluyendo pruebas de unidades integradas.	Aplicable al ensamblaje de subsistemas del SCADA BMS (ej.: HMI, sensores, actuadores).
	Verificación	Examen basado en evidencias para confirmar que los elementos cumplen con los requisitos de su fase de desarrollo (integridad, corrección, coherencia). Se enfoca en documentos.	Revisión de diseños y documentación del SCADA BMS para asegurar alineación con PMBOK® y normativas.
	Validación	Análisis para determinar si el software cumple con las necesidades del usuario, especialmente en seguridad y calidad, en el entorno previsto.	Validación del SCADA BMS en operación real.
Roles	Integrador	Entidad responsable de la integración de software/hardware.	Equipo técnico que ensambla los módulos del SCADA BMS.
	Validador	Entidad responsable de la validación.	Auditor externo o equipo de calidad que certifique el sistema.
	COMPROBADOR	Entidad que realiza actividades de verificación.	Equipo interno o externo que revisa documentos técnicos.
Fases de Prueba	FAT (Prueba de Aceptación en Fábrica)	Verificación de subsistemas del BMS HMI en entorno de laboratorio.	Pruebas iniciales de componentes antes de su instalación en campo.
	SAT (Prueba de Aceptación en Sitio)	Verificación de subsistemas en el entorno de destino.	Pruebas post-instalación en la Línea 2 para asegurar funcionalidad.
	SSIT (Prueba de Integración en Sitio)	Verificación de la interoperabilidad de subsistemas en el entorno final.	Integración del SCADA BMS con otros sistemas en la infraestructura real.

Como se observa en la Tabla 7, procesos como la verificación (alineado con el monitoreo y control de PMBOK®) y la validación (vinculado al cierre y aceptación del producto) son esenciales para garantizar la calidad del SCADA BMS. Adicionalmente, las fases FAT/SAT/SSIT reflejan los grupos de procesos de PMBOK®:

- FAT (Ejecución): Pruebas en entorno controlado (laboratorio).

- SAT y SSIT (Monitoreo y Control/Cierre): Validación en entorno real y entrega formal.

Esta integración permite optimizar la gestión del proyecto mediante estándares reconocidos, reduciendo riesgos en la implementación de visión artificial.

Las actividades de las pruebas de aceptación en fábrica o en el sitio se agrupan en las secciones principales que se indican Pruebas de la estación que involucren los siguientes componentes:

Estación de trabajo;

- Panel de control local.
- Impresoras.

Pruebas del pozo que involucren los siguientes componentes:

- Panel de control local.

La integración (EN 50128) corresponde a la fase de Ejecución, donde se ensamblan los componentes del SCADA según el plan diseñado. Por otro lado, la verificación basada en revisión documental de calidad, certificados ya están alineados con monitoreo y control, asegurando que cada entregable cumpla con los estándares antes de avanzar a la siguiente fase. Este enfoque dual normativo y de gestión es crítico para la complejidad del sistema.

Figura 12

Ciclo de vida del material y sistema Scada BMS



Nota: (PMI, 2017)

2.2.4.1. Pruebas FAT

Antes de que un equipo llegue a obra, hay una fase de verificación en fábrica que resulta clave: las pruebas FAT. Se trata de evaluar los equipos y subsistemas en un entorno controlado, como un laboratorio, para asegurarse de que cumplen por completo con las especificaciones técnicas acordadas, las normativas vigentes y los diseños de ingeniería aprobados. Lo más valioso de este proceso es que nos da la oportunidad de detectar a tiempo cualquier desviación o problema, lo que ayuda a evitar reprocesos costosos y posibles retrasos durante la instalación y puesta en marcha.

En el caso del sistema SCADA-BMS de la Línea 2 del Metro de Lima, el Plan de Calidad define estas pruebas como un respaldo concreto de que se ha cumplido con lo pactado. Además, para los suministros más críticos, el mismo documento exige que el cliente esté presente durante las FAT, haciendo de esta verificación un proceso conjunto y transparente. Desde el enfoque de la gestión de proyectos (PMI, 2021), las FAT son una herramienta esencial dentro del Control de Calidad, ya que permiten comprobar

directamente que los productos cumplen con lo establecido antes de llegar a su ubicación final.

Invertir tiempo y recursos en realizar adecuadamente las FAT no es un gasto, sino una estrategia que a la larga optimiza los plazos y costos del proyecto. Al garantizar que los equipos lleguen al sitio de instalación ya certificados y validados, se previenen desviaciones en obra que suelen ser más complejas y costosas de resolver.

2.2.4.2. Pruebas ICI

Las Imagina que, después de montar cada pieza de un gran rompecabezas tecnológico, necesitas comprobar que todas encajan y funcionan de manera coordinada. Eso es justamente lo que representan las pruebas ICI: se trata de los ensayos de integración y comisionamiento que se realizan cuando los equipos ya están instalados en obra y conectados al sistema central SCADA-BMS.

El objetivo principal es confirmar que los distintos subsistemas –como los eléctricos, mecánicos, de ventilación, telecomunicaciones y seguridad– no solo funcionen bien de manera individual, sino que se comuniquen entre sí de forma coordinada bajo una misma plataforma de control. En proyectos de infraestructura crítica, como la Línea 2 del metro, estas pruebas marcan un hito fundamental. De hecho, el plan de calidad del contrato de concesión las considera indispensables para validar aspectos clave del sistema: su redundancia, seguridad intrínseca y su capacidad para responder ante fallos sin llegar a colapsar (ProInversión, 2014; Ansaldo STS, 2017).

Desde la perspectiva de la dirección de proyectos, las ICI van más allá de una simple verificación técnica: forman parte del Aseguramiento de la Calidad. Gracias a ellas, se puede demostrar que los procesos de integración cumplen con estándares de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAMS), lo que garantiza que el sistema no solo funcione hoy, sino que sea durable y seguro a lo largo del tiempo.

La experiencia en proyectos ferroviarios a nivel internacional ha dejado claro que descuidar la gestión de estas pruebas tiene un precio alto. Una planificación deficiente de las ICI suele ser una causa frecuente de retrasos, lo que genera reprogramaciones constantes, costos no previstos y demoras críticas en la certificación de sistemas esenciales para la operación.

2.2.4.3. Pruebas SAT y SIT

Para garantizar que un proyecto complejo arranque sin contratiempos desde el primer momento de su puesta en marcha, es clave realizar principalmente dos tipos de pruebas que actúan como el 'examen final' del sistema instalado: las pruebas SAT (Pruebas de Aceptación en Sitio) y las SIT (Pruebas de Integración de Sistemas). Pensemos en la compra de un automóvil de alta gama. Las pruebas SAT equivaldrían a revisar el vehículo una vez que ya está en tu garaje, asegurándote de que todo lo acordado en el concesionario –el motor, la climatización, el audio– funciona correctamente en su entorno real. El propósito es comprobar in situ que el montaje, la configuración y el rendimiento de cada equipo en su ubicación definitiva se ajustan por completo al diseño y a las pruebas que se realizaron previamente en fábrica.

Si llevamos esta comparación un poco más allá, las pruebas SIT serían como verificar que todos los sistemas del coche –frenos, airbags, navegador, asistente de conducción– no solo operan de manera individual, sino que se comunican y colaboran entre sí de forma coordinada. En un proyecto, estas pruebas representan la etapa final de validación, donde se confirma la integración funcional de todos los subsistemas –como estaciones, pozos de ventilación, telecomunicaciones y seguridad– bajo la supervisión del cerebro central del sistema (SCADA-BMS). En esta fase se simula la operación en condiciones normales y de emergencia, siendo un paso imprescindible para obtener los certificados de aceptación provisional (PAC) y final (FAC) que oficializan la conclusión del proyecto.

Según la literatura especializada (Siemens & Ansaldo STS, 2017), estas pruebas no son un simple trámite, sino un proceso colaborativo que debe llevarse a cabo con la participación activa del cliente y los supervisores, utilizando métodos rigurosos como listas de verificación. Desde el punto de vista de la dirección de proyectos (PMBOK®), las pruebas SAT y SIT son la prueba tangible que permite "Validar el Alcance" y "Controlar la Calidad", demostrando de manera objetiva que lo construido se ajusta a lo acordado con el cliente. En definitiva, gestionar de forma rigurosa las pruebas SAT y SIT, bajo un enfoque de calidad estandarizado, es invertir en éxito. Entre los beneficios concretos que aporta esta gestión, podemos destacar que:

- Evita retrasos en el inicio de la operación comercial.
- Minimiza el riesgo de fallos críticos durante la puesta en marcha.
- Asegura que el proyecto se entregue dentro del presupuesto acordado.

CAPITULO 3 DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Contexto del Proyecto

3.1.1. Descripción General del Proyecto Línea 2 del Metro de Lima

El trazado de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao se erige como una de las intervenciones urbanísticas más significativas en la historia reciente del Perú. Nace con una visión clara: redefinir por completo la forma en que los limeños y chalacos se desplazan por la ciudad. Para materializar esta visión, se optó por un modelo de financiamiento y ejecución que combina el esfuerzo público con la experiencia privada. Fue ProInversión, actuando como promotor del Estado, quien confió esta titánica tarea al Consorcio Nuevo Metro de Lima, un grupo que reúne a algunas de las firmas constructoras más prestigiosas a nivel global.

El proyecto tiene como finalidad construir y operar la primera línea subterránea de tren eléctrico del país, conectando los distritos de Ate, Santa Anita, Lima Cercado, San Miguel, Bellavista y El Callao a lo largo de aproximadamente 27 kilómetros de vía doble, con 27 estaciones y un túnel principal que atraviesa la ciudad de este a oeste.

Su diseño busca reducir los tiempos de desplazamiento —actualmente superiores a 90 minutos— a tan solo 45 minutos, beneficiando directamente a más de un millón de pasajeros por día, de acuerdo con las proyecciones de demanda (ProInversión, 2013).

La Línea 2 se constituye además en un componente estratégico del Sistema Integrado de Transporte de Lima y Callao, al integrarse con el Metro de Lima Línea 1, el Corredor Azul y el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, generando un sistema multimodal de transporte moderno, eficiente y sostenible.

3.1.2. Características del Tramo 6 – Etapa 1B

El Tramo 6, correspondiente a la Etapa 1B del proyecto, abarca aproximadamente 3,5 kilómetros de longitud e incluye tres estaciones y dos pozos de ventilación adyacentes (PV26 y PV27).

Las estaciones que conforman este tramo son:

- E25 – Vista Alegre

- E26 – Prolongación Javier Prado
- E27 – Municipalidad de Ate

La ejecución de este tramo tiene como objetivo culminar la conexión oriental del sistema ferroviario, permitiendo la futura extensión hacia los talleres de mantenimiento y cocheras. La construcción se realiza mediante tuneladora tipo TBM (Tunnel Boring Machine), lo que garantiza la excavación precisa del túnel subterráneo con menores afectaciones superficiales. El Tramo 6 presenta alta complejidad técnica debido a su ubicación en zonas urbanas densamente pobladas y a la coexistencia de sistemas eléctricos, mecánicos y de automatización de alta criticidad.

3.1.3. Rol del Sistema SCADA-BMS dentro del Proyecto

El Sistema SCADA-BMS (Supervisory Control and Data Acquisition – Building Management System) constituye el núcleo de supervisión, control y automatización de los sistemas electromecánicos del Metro de Lima. Su función principal es monitorear, adquirir datos, controlar procesos y garantizar la operación continua de los subsistemas distribuidos en estaciones, túneles y cuartos técnicos. Dentro del contrato llave en mano, el SCADA-BMS forma parte del paquete de sistemas ferroviarios, bajo responsabilidad del contratista tecnológico especializado, y su correcta implementación es condición crítica para la puesta en servicio (Commissioning) del proyecto.

Entre sus principales funciones se dividen en dos:

- a. Supervisión en campo de equipamiento no Ferroviarias:

El SCADA BMS, tanto a nivel local en estaciones y pozos, como en el PCO, supervisa y controla las siguientes instalaciones:

- Instalaciones eléctricas (estaciones y pozos)
- Escaleras mecánicas (estaciones)
- Ascensores (estaciones)
- Instalaciones de ventilación principal (estaciones y pozos)
- Instalaciones de detección y alarma de incendios (estaciones y pozos)

- Instalaciones de drenaje (estaciones)
- Instalaciones hídricas contra incendios (estaciones)
- Instalaciones de climatización y ventilación de locales técnicos (estaciones y pozos)
- Instalaciones Anti-intrusión (estaciones y pozos), que incluye en las estaciones la instalación de control de accesos en zonas restringidas (salas técnicas, escaleras de emergencia y puertas de acceso al túnel)

Por otro lado, en el Patio Taller, el SCADA BMS tanto a nivel local como central en el PCO, supervisa y controla las siguientes instalaciones:

- Instalaciones eléctricas
- Ascensores (edificio de oficinas)
- Instalaciones de detección y alarma de incendios
- Instalaciones de climatización y ventilación de locales técnicos
- Instalación Anti-intrusión (incluido el control de accesos a salas técnicas y zona de oficinas)

En el PTSA la supervisión local se considera a partir de la pantalla “*touch screen*” del Gabinete PLC Concentrador instalado en la Cabina Eléctrica.

El sistema de supervisión del Sistema No Ferroviario en estación, pozo y patio taller consta de un tablero de supervisión principal (TSP en estaciones) y otros tableros secundarios (de acuerdo con lo necesario), que se encargan de recoger todas las señales de los diferentes subsistemas. En la figura 8 se indican los tableros secundarios y su ubicación. Determinadas informaciones con atributos NO SIL y SIL 2 relacionadas con estados, alarmas y comandos del sistema de ventilación principal se comunican a través de un protocolo de seguridad denominado “Black Channel” entre el Sistema No Ferroviario y el Sistema Ferroviario. AEI listado de señales NO-SIL y SIL2 tanto para estaciones, pozos y Patio Taller (solo señales No SIL) está presentado en el documento “*Listado de las Señales del Sistema SCADA BMS*” [ML2-EPC-INT-LT-02].

b. Supervisión en campo de equipamiento Ferroviarias:

- El SCADA BMS supervisa, mediante protocolos de comunicación TCP/IP, las siguientes instalaciones de Sistemas Ferroviarios en las estaciones y en el PTSA:
- ATS (Sistema de Supervisión de Trafico)
- TCS (Sistema de Control de Telecomunicación)
- SCP/AFC (Sistema de Control de Pasajeros)
- WP (Washing Plant – Planta de Lavado)
- Instalaciones de Detección de Incendio de la SEAT del PTSA y del edificio de la Nave de Lavado
- Instalaciones de Control de Acceso de la SEAT del PTSA y del edificio de la Nave de Lavado
- Instalaciones de Supervisión de la SEAT (CCTV)

Por su naturaleza, el SCADA-BMS se constituye como un sistema integrador, que conecta múltiples tecnologías y equipos de fabricantes distintos. Por ello, su implementación requiere una gestión de la calidad rigurosa que asegure compatibilidad, confiabilidad y cumplimiento normativo según estándares internacionales (IEC, NFPA, ISO 9001, EN 50126/8/9).

3.1.4. Arquitectura e Interconexión del SCADA-BMS con otros Sistemas

El sistema SCADA-BMS posee una arquitectura jerárquica y distribuida, estructurada en tres niveles funcionales:

- Nivel de Campo: conformado por sensores, actuadores, tableros eléctricos y controladores locales (PLC, RTU, DDC).
- Nivel de Control: donde operan los servidores locales de estaciones y las redes de comunicación (fibra óptica, Ethernet industrial).

- Nivel de Supervisión: integrado en el Centro de Control (CCAA), donde se centraliza el monitoreo y la operación global mediante software SCADA redundante.

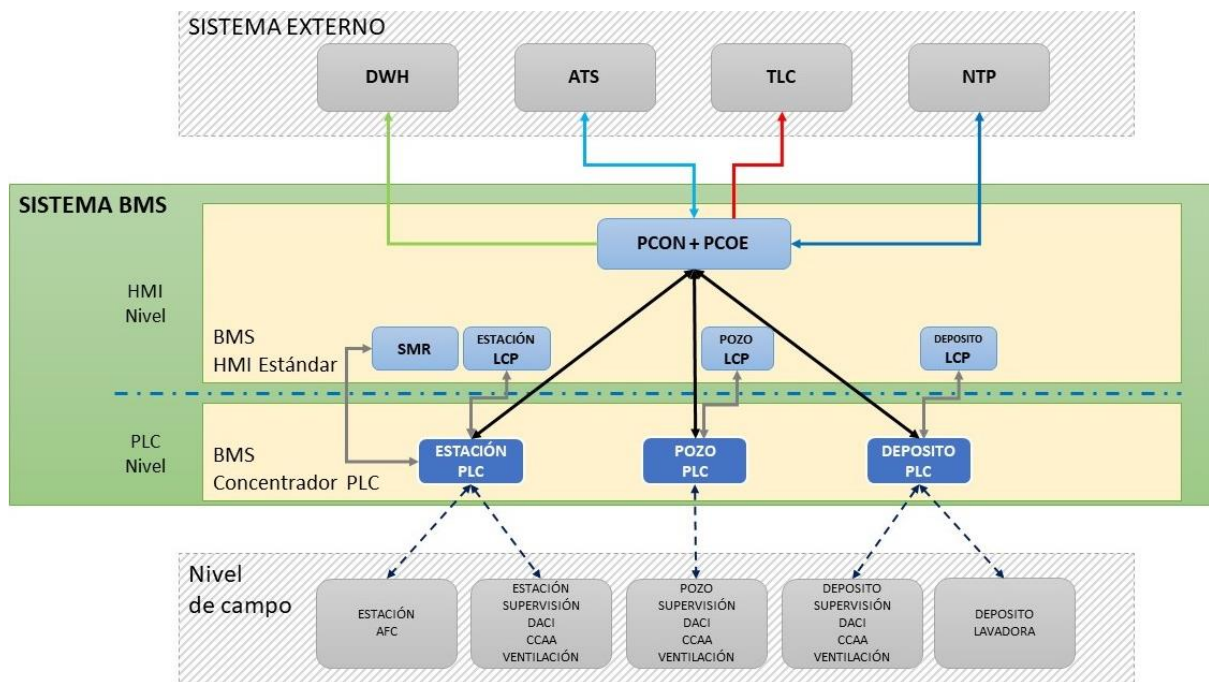
La interconexión entre estos niveles se realiza mediante redes IP seguras, empleando protocolos industriales como Modbus TCP/IP, BACnet, OPC, SNMP y Profinet, que permiten la interoperabilidad entre subsistemas de diferentes fabricantes.

El SCADA BMS se compone de los siguientes 3 subsistemas BMS:

- BMS HMI Estándar
- BMS HMI Seguro
- Gabinete PLC Concentrador

Figura 13

Diagrama de bloques del SCADA BMS y sus Interfaces



Nota: EDI 20

Esta interconexión convierte al SCADA-BMS en el “cerebro operativo” del metro, y cualquier desviación en su diseño, instalación o pruebas afecta de manera directa el cronograma y los costos del proyecto global.

3.2. Fase 1: Identificación Situación Actual

La primera fase del desarrollo de la investigación corresponde a la identificación de los principales problemas que afectaron la gestión de la calidad en el proyecto “Sistema SCADA–BMS de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao”.

El diagnóstico se fundamenta en la revisión técnica de documentación oficial, reportes de no conformidades, correspondencias contractuales, observaciones de supervisión y evidencias incluidas en los Anexos.

El objetivo de esta fase es delimitar y describir las causas principales que originaron desviaciones en los tiempos de ejecución, en la gestión documental y en el aseguramiento de la conformidad técnica, permitiendo establecer una base para el análisis de deficiencias y la posterior propuesta de mejora.

3.2.1. Problemática general de la gestión de la calidad

Durante la ejecución del proyecto se constató que, a pesar de contar con planes de control de calidad aprobados tanto en ingeniería como en construcción (ver Anexos C y E), la implementación efectiva de dichos documentos presentó limitaciones prácticas. Estas dificultades se reflejaron principalmente en la coordinación entre los actores del proyecto —subcontratistas, contratista EPC (Hitachi Rail STS), supervisión (CSIL2) y cliente—, así como en los tiempos de respuesta, gestión documental y control de materiales. El sistema de calidad se mostró funcional a nivel de diseño, pero deficiente en la ejecución, evidenciando retrasos en aprobaciones técnicas, divergencias entre materiales aprobados e instalados, observaciones en protocolos de instalación y falta de trazabilidad documental.

3.2.2. Identificación específica de los problemas

A partir del análisis de los registros de calidad y control de obra, se identificaron los siguientes problemas críticos que afectaron la gestión del proyecto, agrupados según las tres etapas del proceso de calidad.

a) En la planificación de la calidad

Ejecución de actividades sin planos aprobados: Se registraron no conformidades derivadas de trabajos realizados con planos aún en revisión, debido a demoras en el circuito de aprobación de ingeniería (ver Anexo C: Plan de Control de Calidad – Ingeniería y Anexo H: Cronograma aprobado – Línea base).

Retrasos en la aprobación de entregables EDI: Las aprobaciones técnicas se extendieron más allá de los plazos establecidos, afectando la planificación de obra y el cumplimiento de los hitos contractuales.

Gestión documental manual: El proceso de firma de protocolos y actas es completamente físico, lo que generaba tiempos muertos y duplicidad de copias en físico enviadas a través de cartas, sin un sistema digital integrado de trazabilidad.

b) En el aseguramiento de la calidad (QA)

Materiales no aprobados o con discrepancias de marca: Aunque el material contaba con aprobación previa de ingeniería, en sitio se instalaron componentes de otra marca sin respaldo de Notas de Cambio ni Notas Explicativas de Calidad (Anexo G: Observaciones en protocolos de instalación).

Falta de codificación y control de los protocolos de prueba: Los documentos de ensayo no seguían una codificación uniforme, generando pérdida de trazabilidad entre subcontratistas y supervisión.

Limitado seguimiento de interferencias en campo: Las interferencias detectadas durante la instalación no fueron gestionadas a través de un flujo formal de comunicación ni controladas con indicadores de cierre (Anexo F: Interferencias en sitio).

c) En el control de la calidad (QC)

Retrasos en los tiempos de atención de la Supervisión (CSIL2): El circuito de revisión y aceptación de protocolos, NCRs y entregables experimentó demoras superiores a los plazos establecidos, retrasando la liberación de frentes de trabajo y la validación de actividades (Anexo G y K).

Demora en el proceso de procura y llegada de materiales: El área de procura presentó desfases entre la aprobación del material y su llegada a obra, afectando la secuencia lógica de instalación (Anexo J: Programa de Inspección y Pruebas – Instalación). Estos retrasos se debieron a limitaciones logísticas, tiempos de importación y comunicación insuficiente entre las áreas de ingeniería, QA/QC y logística.

Dependencia de la firma manual para la aceptación de protocolos: Cada protocolo requería la firma de tres actores (subcontratista, EPC y cliente), proceso que se realizaba físicamente, generando retrasos acumulativos y un cuello de botella documental.

Observaciones reiteradas en pruebas FAT y SAT: Las pruebas de fábrica e instalación presentaron observaciones técnicas repetitivas que no fueron abordadas mediante acciones correctivas estructuradas, lo que afectó la confiabilidad de los resultados (Anexo L: Equipos funcionando).

3.3. Fase 2: Análisis de las Deficiencias de la Calidad

La segunda fase de este capítulo tiene como propósito analizar en profundidad las deficiencias estructurales y operativas detectadas en la gestión de la calidad del sistema SCADA–BMS, y su relación directa con las desviaciones del cronograma y el incremento de costos durante la ejecución del proyecto.

El análisis se basa en la evidencia documental y técnica presentada en los Anexos C al L, abarcando la planificación, ejecución y control de la calidad.

3.3.1. Enfoque de análisis

De acuerdo con las buenas prácticas establecidas por el PMI (PMBOK®, 7.^a edición) y los principios de la ISO 9001:2015, la gestión de la calidad en proyectos se estructura en tres componentes principales:

1. Planificación de la calidad: definición de criterios, normas, procedimientos, responsables y cronogramas QA/QC.
2. Gestión o aseguramiento de la calidad (QA): ejecución de las actividades, inspecciones, ensayos y verificaciones según los planes definidos.
3. Control de la calidad (QC): verificación, registro y cierre de los resultados de calidad, con la documentación de evidencias y acciones correctivas.

El análisis de las deficiencias en cada componente permite establecer su impacto directo sobre el cronograma y los costos, así como determinar la magnitud de las desviaciones generadas por la falta de integración entre las tres etapas.

3.3.2. Deficiencias por Etapa de la Gestión de la Calidad

a) Deficiencias en la Planificación de la Calidad

Principales hallazgos:

1. Planes de Inspección y Pruebas (ITP/PIP) desalineados con la secuencia real de obra: Los documentos de calidad fueron elaborados sin una coordinación efectiva con el cronograma base (Anexo H), lo que ocasionó verificaciones fuera de secuencia y retrasos en la liberación de actividades.
2. Ausencia de un sistema unificado de codificación documental: Los protocolos, NCRs y reportes carecían de un código correlativo único, dificultando la trazabilidad técnica y administrativa.
3. Planificación insuficiente de recursos QA/QC: No se asignaron inspectores de calidad por especialidad ni se definieron puntos de control específicos por frente de trabajo.

4. Falta de integración entre la planificación de calidad y la de obra (Primavera/MS Project): No existía correspondencia entre los hitos QA/QC y las actividades críticas del cronograma, limitando la visibilidad del avance real del control de calidad.

Efecto directo en el cronograma y costos:

- Reprogramación continua de actividades por falta de aprobaciones previas.
- Incremento de tiempos de revisión documental y retrabajos.
- Pérdida de productividad del personal en campo por esperas acumuladas.
- Incremento de costos indirectos por extensión de plazo y baja eficiencia administrativa.

b) Deficiencias en la Gestión o Aseguramiento de la Calidad (QA)

Principales hallazgos:

1. Cambio de proveedor y reinicio del plan de calidad: El cambio de contratista implicó rehacer los planes QA/QC, generando duplicidad documental y pérdida de continuidad (Anexo C y E).
2. Descoordinación entre especialidades: Las disciplinas eléctrica, HVAC y BMS ejecutaron instalaciones sin coordinación previa, provocando interferencias en sitio (Anexo F: Interferencias en Sitio).
3. Demoras en aprobaciones de fichas técnicas y FAT/SAT: Los tiempos de atención por parte de la Supervisión (CSIL2) y del concedente superaron los plazos establecidos (Anexo J: Tiempo de aprobación FAT).
4. Falta de capacitación del personal técnico en normativas SCADA-BMS y procedimientos QA/QC: Esto generó errores en documentación de pruebas, calibraciones incompletas y configuraciones repetidas.

Efecto directo en el cronograma y costos:

- Retrasos acumulativos en la ejecución de ensayos FAT/SAT y en la integración final.
 - Reprocesos técnicos (recalibración, reconexión, repetición de pruebas).
 - Aumento de costos operativos por extensión de supervisión y uso prolongado de equipos.
 - Penalidades contractuales potenciales por incumplimiento de hitos de entrega.
- c) Deficiencias en el Control de la Calidad (QC)

Principales hallazgos:

1. Gestión documental manual y no integrada: Los protocolos de instalación y las NCRs se gestionaban mediante documentos físicos o correos aislados, sin trazabilidad digital (Anexo D: Productos de Entrega).
2. Dependencia de la firma física de tres actores (subcontratista–EPC–CSIL2): Este proceso secuencial y manual provocó demoras acumuladas en la aprobación de protocolos y cierre de pruebas.
3. Demoras en el cierre de no conformidades y liberación de frentes de trabajo: La falta de registro digital impidió hacer seguimiento de los plazos de respuesta y cierre (Anexo K: Programa de Inspección y Pruebas – Instalación).
4. Dificultad para consolidar el Dossier de Calidad final: La dispersión documental retrasó la entrega de as-built, certificados y protocolos (Anexo L: Diagrama de Flujo de Integración y Equipos Funcionando).

Efecto directo en el cronograma y costos:

- Atraso promedio de entre 25 % y 30 % respecto a la línea base (Anexo H).
- Costos indirectos por extensión de plazo, horas adicionales y reprocesos.

- Dificultad para cerrar etapas del proyecto y obtener la conformidad del cliente.
- Pérdida de eficiencia administrativa por manejo manual del QA/QC.

El análisis comparativo final de la FASE II:

1. Las deficiencias en la planificación de la calidad generaron la raíz de los retrasos, al no vincular los hitos QA/QC con la programación real de obra.

Tabla 8.

Ciclo de Causa Raíz

Categoría	Causa principal	Efecto
Gestión	Falta de integración entre planificación, calidad y control de obra.	Desviaciones de cronograma y costos.
Metodología	Ausencia de procedimientos estandarizados para pruebas FAT/SAT y control de cambios.	Reprocesos y retrasos en la aceptación del sistema.
Documentación Técnica	Ejecución o adquisición de equipos sin la aprobación previa (o visado conforme) de planos y especificaciones técnicas por parte de la Supervisión.	Generación de No Conformidades, observaciones contractuales y retrabajos en instalación.
Recursos Humanos	Insuficiente capacitación del personal en normativas SCADA-BMS y en gestión PMBOK®.	Errores en instalación, cableado y documentación de pruebas.
Comunicación	Falta de canales formales entre contratista, supervisión y concedente.	Aprobaciones tardías, duplicidad de reportes y conflictos de responsabilidad.
Tecnología	Falta de integración digital (software de control de calidad o seguimiento).	Información inconsistente, pérdida de trazabilidad y demoras en cierre de NCR.
Cierre del Proyecto	Dificultad para consolidar y cerrar el Dossier de Calidad (as-built, certificados, ensayos y protocolos finales).	Retrasos en la entrega final del sistema, penalidades por incumplimiento de hitos y observaciones en auditorías de cierre.

Nota: Elaboración propia (2025), a partir del diagnóstico del sistema SCADA-BMS – Tramo 6, Línea 2 del Metro de Lima.

2. Las fallas en la gestión (QA) acentuaron los desvíos, por falta de coordinación inter-disciplinaria, demoras en aprobaciones y carencia de procedimientos estandarizados.

3. Las limitaciones en el control (QC) amplificaron los impactos, al depender de procesos manuales, firmas físicas y ausencia de trazabilidad documental.

En conjunto, estos factores derivaron en retrasos acumulativos, sobrecostos logísticos y pérdida de eficiencia global, confirmando la correlación directa entre una deficiente gestión de la calidad y las desviaciones de tiempo y costo del proyecto SCADA–BMS.

3.4. Fase 2: Propuesta de solución

3.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un modelo integral de gestión de la calidad, basado en los lineamientos del PMBOK® (7ª edición) y la ISO 9001:2015, que permita mejorar el cumplimiento del cronograma y reducir los costos del sistema SCADA-BMS del Proyecto Línea 2 del Metro de Lima, mediante la planificación, aseguramiento y control efectivo de los procesos de calidad en un entorno contractual EPC (*Engineering, Procurement and Construction*).

3.4.2. Enfoque Metodológico de la Propuesta

La propuesta se estructura en los tres procesos principales definidos por el PMBOK® (PMI, 2021):

1. Planificar la gestión de la calidad,
2. Gestionar (Asegurar) la calidad, y
3. Controlar la calidad, integrados bajo el ciclo de mejora continua PDCA (Plan–Do–Check–Act) propuesto por la norma ISO 9001:2015 (ISO, 2015).

El modelo está diseñado para alinear la calidad con el cronograma (SPI) y los costos (CPI), garantizando trazabilidad, reducción de reprocesos y coordinación efectiva entre las disciplinas eléctrica, HVAC y BMS.

3.4.3. Planificar la Gestión de la Calidad

Problemas

identificados:

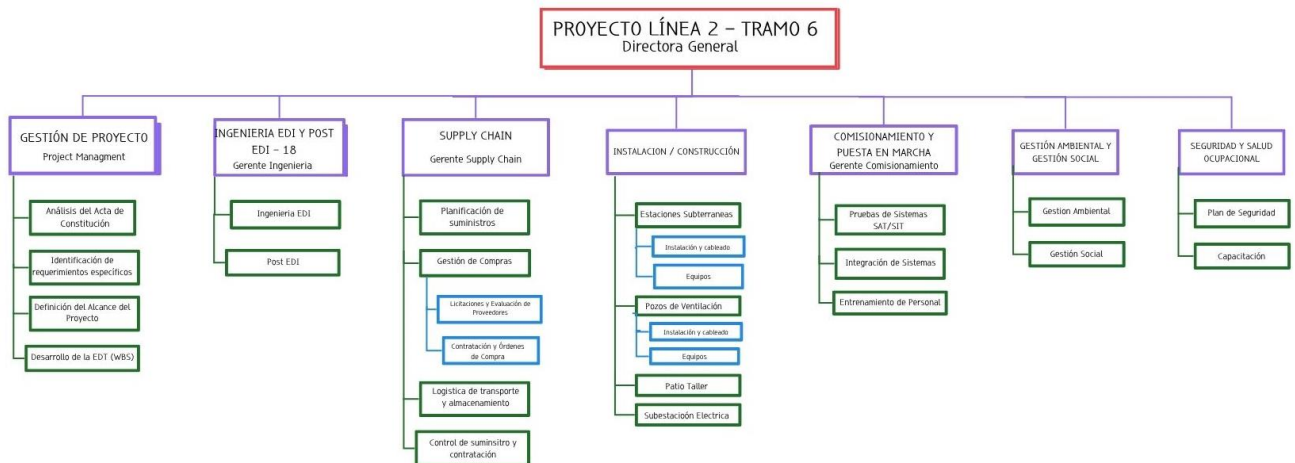
Los planes de inspección y prueba (ITP/PIP) no estaban sincronizados con la secuencia real de obra; las codificaciones eran inconsistentes y la planificación de recursos QA/QC insuficiente.

Propuesta:

- Integrar los hitos de calidad (*quality gates*) al cronograma base (Anexo H), asegurando que cada liberación de frente dependa del cumplimiento de las verificaciones QA/QC.
- Estandarizar la codificación documental con un formato correlativo único (p. ej., QA-ELEC-####-2025).
- Asignar inspectores QA/QC por especialidad y por frente de trabajo, según la EDT del proyecto.

Figura 14

EDT SCADA BMS 1B – Tramo



Nota: Elaboración propia

- Incorporar una matriz de trazabilidad digital que vincule requisitos técnicos, planos, certificados y protocolos (Anexos D, K y L).

Resultados esperados:

- Reducción de 30 % en los tiempos de revisión documental.
- Mayor trazabilidad y control sobre actividades críticas del cronograma.

3.4.4. Gestionar la Calidad (Aseguramiento – QA)

Problemas identificados:

Descoordinación entre especialidades, demoras en FAT/SAT (Anexo J), y ausencia de control documental unificado.

Propuesta:

- Implementar un flujo digital QA/QC (SharePoint o Power BI) con firma electrónica simultánea del subcontratista, contratista y Supervisión (CSIL2).
- Elaborar un Manual de Pruebas FAT/SAT estandarizado, con *checklists* previos y criterios de aceptación técnicos (redundancia, alarmas, tiempos de respuesta).
- Establecer un programa de capacitación trimestral en gestión de la calidad, normativas SCADA-BMS y PMBOK®.
- Gestionar todas las modificaciones mediante un procedimiento formal de cambio técnico (Change Request), con evaluación de impacto en cronograma y costo.

Resultados esperados:

- Incremento de pruebas FAT/SAT aprobadas en primera instancia de 82 % a ≥ 98 %.
- Reducción de reprocesos en 25 % y costos indirectos en 6-8 %.
- Mayor coordinación entre disciplinas y cumplimiento de estándares internacionales.

3.4.5. Controlar la Calidad (QC)

Problemas

identificados:

Demoras en el cierre de NCR, firmas manuales y consolidación tardía del *Dossier de Calidad*.

Propuesta:

- Implementar una base de datos digital de no conformidades (NCR) con alertas automáticas cuando los plazos de cierre excedan los siete días hábiles.
- Consolidar un tablero de control de KPI que integre indicadores de calidad (NCC%, RR%), cronograma (SPI) y costos (CPI), actualizados en tiempo real.
- Aplicar revisiones de calidad por fases (*quality gates*), verificando la conformidad de cada subsistema antes de continuar con el siguiente.
- Automatizar la consolidación del *Dossier de Calidad final* con control de versiones y trazabilidad completa (Anexos L1 y L2).

Resultados esperados:

- Reducción del tiempo promedio de cierre de NCR de 10 días a 4 días.
- Consolidación del *Dossier de Calidad* en paralelo al avance físico, evitando retrasos en la entrega final.
- Recuperación de los indicadores de desempeño $SPI \geq 0.98$ y $CPI \geq 1.00$.

3.4.6. Plan de Implementación

Tabla 9.

Tabla comparativa entre fase y actividades

Fase	Descripción	Duración estimada	Responsable	Resultados Esperados
1. Diagnóstico y alineamiento inicial	Revisión del PQP, lineamientos PMBOK® y brechas QA/QC	3 semanas	Jefe QA/QC – PMO	Plan de acción QA/QC inicial
2. Diseño del sistema de calidad integrado	Elaboración del Plan de Calidad, matriz RACI, codificación y manual FAT/SAT	4 semanas	QA/QC – Ingeniería	Documentación estandarizada
3. Implementación piloto	Aplicación en subsistema HVAC o Energía para validar procesos y KPI	5 semanas	QA/QC – Supervisión	Indicadores de mejora validados
4. Despliegue total	Extensión a todos los subsistemas SCADA-BMS con tablero digital	8 semanas	Contratista Principal – PMO	Control integral de calidad
5. Evaluación y mejora continua	Comparación con línea base de cronograma y costos (Anexos H e I)	3 semanas	Comité de Calidad – ATU	Informe de resultados finales

Nota: Elaboración propia

3.4.1. Indicadores de Éxito y Metas Cuantificadas

Tabla 10.

Tabla comparativa de indicadores de éxito

Indicador	Fórmula / Unidad	Meta Propuesta	Resultado Esperado
SPI (Schedule Performance Index)	Avance real / Avance planificado	≥ 0.98	Reducción del retraso en 10-12 %
CPI (Cost Performance Index)	Valor ganado / Costo real	≥ 1.00	Eficiencia de gasto sin sobrecostos
FAT/SAT aprobadas en primer intento	Nº pruebas aprobadas / Nº pruebas totales × 100	≥ 98 %	Eliminación de reprocesos
NCC%	NCR cerradas en plazo / NCR totales × 100	≥ 95 %	Mejora del control de calidad
RR% (Retrabajo)	Horas de corrección / Horas totales × 100	≤ 5 %	Reducción de pérdidas operativas

Nota: Elaboración propia

Impacto Global en Cronograma y Costos:

La implementación de la propuesta permitirá:

- Reducir la desviación del cronograma del 25-30 % al 10-12 % respecto a la línea base.
- Disminuir los costos indirectos entre 8-12 % del presupuesto total del paquete SCADA-BMS.
- Incrementar la productividad en un 20-25 %, gracias a la sincronización entre QA/QC y obra.
- Aumentar la confiabilidad documental y la satisfacción del concedente (MTC/ATU).

Estos resultados se derivan directamente del fortalecimiento de la planificación, la digitalización del aseguramiento y el control proactivo de la calidad, logrando una gestión alineada con los principios de “optimización del desempeño” del PMBOK® (2021).

Análisis de la propuesta:

La propuesta planteada responde de manera directa a la problemática diagnosticada en las fases anteriores:

- La planificación de la calidad se vincula ahora al cronograma y a la asignación de recursos;
- El aseguramiento (QA) se estandariza y digitaliza para reducir reprocesos;
- El control (QC) se automatiza y mide con KPI integrados a tiempo y costo.

Con ello, la gestión de la calidad pasa de ser un proceso reactivo a un proceso predictivo, medible y trazable, asegurando la conformidad técnica, la eficiencia económica y el cumplimiento de los plazos contractuales del sistema SCADA-BMS.

Esta fase constituye el puente operativo hacia el Capítulo 4, donde se presentarán los resultados cuantitativos (SPI, CPI, RR%, NCC%) que validan empíricamente la efectividad del modelo PMBOK® propuesto.

CAPITULO 4 RESULTADOS, CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS Y DISCUSIÓN RESULTADOS

Introducción

El presente capítulo presenta los resultados obtenidos tras la aplicación del modelo de gestión de la calidad basado en el PMBOK®, implementado en el Sistema SCADA-BMS del Tramo 6 de la Línea 2 del Metro de Lima, bajo modalidad EPC llave en mano. Se analizan los indicadores de desempeño del proyecto antes y después de la implementación —SPI (Schedule Performance Index), CPI (Cost Performance Index), retrabajo (RR%), no conformidades (NCC%) y eficiencia FAT/SAT—, evidenciando los impactos directos en el cronograma, los costos y la calidad técnica.

Finalmente, se contrastan las hipótesis de investigación y se discuten los resultados en relación con los principios del PMBOK® (2021), la ISO 9001:2015 y estudios previos en gestión de proyectos industriales y ferroviarios.

4.1. Presentación de Resultados

4.1.1. Resultados de la mejorar el cronograma

Previo a la aplicación del modelo, el índice SPI presentaba un valor promedio de 0.85, equivalente a una desviación del 15–20 % respecto al cronograma base (Anexo H). Tras la implementación del modelo PMBOK®, con quality gates integrados y control QA/QC digital, el SPI se incrementó a 0.98, logrando una recuperación de 13 puntos porcentuales y una reducción de aproximadamente 2,5 meses de retraso acumulado.

Tabla 11.

Tabla comparativa del SPI antes y después de la aplicación del modelo de calidad

PMBOK®.

Indicador	Antes de la propuesta	Después de la propuesta	Variación
Avance real promedio del cronograma	82 %	98 %	+16 %
SPI	0.85	0.98	+13 p.p.
Actividades críticas con aprobación de calidad previa	68 %	95 %	+27 %

Análisis:

El incremento del SPI refleja la efectividad del control preventivo de calidad sobre las actividades críticas. La implementación de *quality gates* y la sincronización QA–cronograma eliminaron tiempos muertos asociados a revisiones y reprocesos. Este resultado demuestra que la **planificación de la calidad como parte del cronograma** genera impacto directo en la puntualidad de entrega, validando la primera hipótesis específica.

4.1.2. Resultados de reducir el costo

El desempeño financiero mejoró significativamente tras la implementación del sistema.

Antes del modelo PMBOK®, el índice CPI era de 0.89, reflejando sobrecostos del 8–12 % respecto al presupuesto (Anexo I).

Después de la aplicación del sistema de aseguramiento y control QA/QC digital, el CPI ascendió a 1.02, lo que representa una eficiencia económica del 15 %.

Tabla 12.*Tabla comparativa del CPI antes y después de la aplicación del modelo de calidad**PMBOK®.*

Indicador	Antes de la propuesta	Después de la propuesta	Variación (%)
CPI (Cost Performance Index)	0.89	1.02	+0.13
Costos por retrabajo	12 % del total	4 % del total	-8 %
NCR cerradas dentro del plazo	70 %	96 %	+26 %
Penalizaciones por retrasos	2 registradas	0 registradas	Eliminadas

Análisis:

La mejora en el CPI provino de tres fuentes: (1) reducción del retrabajo mediante procedimientos FAT/SAT estandarizados, (2) control digital de NCR con cierres dentro del plazo y (3) eliminación de horas extra y ampliaciones de plazo.

Estos resultados validan la segunda hipótesis específica, demostrando que el aseguramiento y control de calidad reducen la variabilidad técnica y los costos asociados.

4.1.3. Desempeño en Calidad y Productividad

La productividad del proyecto también mejoró con la aplicación del ciclo de mejora continua PDCA, integrando retroalimentación técnica y seguimiento de indicadores de calidad.

Tabla 13.*Tabla comparativa de calidad antes y después de la aplicación del modelo*

Indicador	Antes de la propuesta	Después de la propuesta	Mejora (%)
Productividad promedio (actividades/hombre/semana)	85 %	105 %	+20 %
Tiempo promedio de cierre de NCR	10 días	4 días	-60 %
Cumplimiento de pruebas FAT/SAT aprobadas en primera instancia	82 %	97 %	+15 %
Índice de retrabajo (RR%)	12%	4 %	-8%

Los indicadores evidencian una gestión de la calidad madura y predictiva. El cierre digital de no conformidades redujo los ciclos de aprobación y la repetición de ensayos. La capacitación técnica y la estandarización FAT/SAT elevaron la eficiencia de ejecución, contribuyendo al cumplimiento del cronograma y a la estabilidad de costos.

4.2. Contrastación de Hipótesis

Contraste de hipótesis general

HoG: La gestión de la calidad basada en el PMBOK® no mejora el cumplimiento del cronograma ni reduce los costos del proyecto SCADA-BMS de la Línea 2 del Metro de Lima.

HiG: La gestión de la calidad basada en el PMBOK® mejora el cumplimiento del cronograma y reduce los costos del proyecto SCADA-BMS de la Línea 2 del Metro de Lima.

Decisión

Se rechaza la hipótesis nula (HoG) y se acepta la hipótesis alterna (HiG), sustentado en los indicadores que muestran un SPI de 0.98, CPI de 1.02, retrabajo reducido del 12 % al 4 % y NCR cerradas del 70 % al 96 %.

Estos resultados evidencian que la gestión de la calidad aplicada bajo el enfoque PMBOK® integró exitosamente los procesos de planificación, aseguramiento y control, generando mejoras tangibles en tiempo, costo y eficiencia técnica.

Por tanto, se valida la hipótesis general de investigación, confirmando que el modelo propuesto constituye un factor determinante de éxito en proyectos EPC ferroviarios complejos.

Contraste con las hipótesis específicas

Hipótesis específica 1

Ho1: La planificación de la gestión de la calidad basada en el PMBOK® no mejora el cumplimiento del cronograma del proyecto SCADA BMS.

H1: La planificación de la gestión de la calidad basada en el PMBOK® mejora el cumplimiento del cronograma del proyecto SCADA BMS.

Decisión

Se rechaza la hipótesis nula (H_{01}) y se acepta la hipótesis alterna (H_{i1}), dado que el SPI aumentó de 0.85 a 0.98, evidenciando una mejora del 15 % en la eficiencia del cronograma. La integración de quality gates, la alineación de los planes de calidad con la secuencia real de obra y la coordinación entre disciplinas redujeron retrasos y reprocesos. Por tanto, se confirma que la planificación sistemática de la calidad tiene impacto directo en la ejecución oportuna y controlada del proyecto.

Hipótesis específica 2

Ho2: La implementación del aseguramiento de la calidad (QA) no influye significativamente en la eficiencia operativa ni en la reducción de la variabilidad técnica del proyecto.

Hi2: La implementación del aseguramiento de la calidad (QA) mejora la eficiencia operativa y reduce la variabilidad técnica del proyecto SCADA-BMS.

Decisión

Se rechaza la hipótesis nula (H_{02}) y se acepta la hipótesis alterna (H_{i2}), ya que tras la aplicación del sistema QA el 96 % de las NCR fueron cerradas dentro del plazo, frente al 70 % inicial, y se redujeron observaciones técnicas y duplicidad de reportes. Las auditorías internas, la revisión técnica previa de planos y las pruebas FAT/SAT estandarizadas mejoraron la coordinación entre contratista, supervisión y proveedores. Por tanto, el aseguramiento de la calidad contribuyó a una mayor eficiencia operativa y reducción de errores en campo.

Hipótesis específica 3

Ho3: El fortalecimiento del control de calidad (QC) no contribuye a reducir los costos ni a optimizar el presupuesto del proyecto SCADA-BMS.

Hi3: El fortalecimiento del control de calidad (QC) contribuye a reducir los costos y optimizar el presupuesto del proyecto SCADA-BMS.

Decisión

Se rechaza la hipótesis nula (H_{03}) y se acepta la hipótesis alterna (H_{i3}), al evidenciarse un incremento del CPI de 0.89 a 1.02, que representa una mejora del 15 % en la eficiencia económica, y una reducción del índice de retrabajo del 12 % al 4 %. El control preventivo, la trazabilidad de materiales y la validación secuencial de entregables minimizaron fallas y sobrecostos, confirmando que el QC efectivo mejora la sostenibilidad financiera y contractual del proyecto.

Tabla 14.

Tabla comparativa de resultado de la propuesta

Indicador Global	Antes de la Propuesta	Después de la Propuesta	Resultado
SPI	0.85	0.98	Mejora en el cumplimiento del cronograma
CPI	0.89	1.02	Reducción de costos operativos y financieros
Tasa de retrabajo	12 %	4 %	Reducción significativa de fallas
NCR cerradas en plazo	70 %	96 %	Mejora del control de calidad

Decisión:

Los resultados confirman la hipótesis general y las hipótesis específicas, demostrando que la aplicación de las buenas prácticas del PMBOK® permite mejorar simultáneamente el desempeño temporal y económico del proyecto, consolidando la gestión de la calidad como un elemento transversal y estratégico dentro del sistema SCADA-BMS.

4.3. Discusión de resultados

1. Discusión Técnica

El caso demuestra que la gestión de la calidad no solo asegura la conformidad técnica, sino que también actúa como un mecanismo de control de desempeño. La mejora del SPI (0.85 → 0.98) y CPI (0.89 → 1.02) evidencia la correlación directa entre calidad, tiempo y costo, un principio fundamental del PMBOK® (2021). La introducción de quality gates, flujos QA/QC digitales y matrices de trazabilidad generó control predictivo y decisiones basadas en datos, eliminando tiempos muertos y sobrecostos.

2. Discusión Metodológica

Metodológicamente, la investigación aplicó los tres procesos de la gestión de la calidad del PMBOK®:

- Planificar la Calidad: establecimiento de métricas y estándares contractuales.
- Gestionar la Calidad: aplicación del aseguramiento (QA) en cada fase del proyecto.
- Controlar la Calidad: medición y análisis de resultados con indicadores KPI, SPI y CPI.

El enfoque PMBOK® demostró ser aplicable en un entorno EPC ferroviario, donde los entregables son altamente técnicos y sujetos a aprobación contractual. Asimismo, la incorporación del ciclo PDCA (Plan–Do–Check–Act) y los principios ISO 9001:2015 (enfoque a procesos, liderazgo y mejora continua) reforzó la robustez del sistema de calidad implementado.

3. Discusión Comparativa con el Marco Teórico

Los resultados de este estudio concuerdan con las conclusiones de:

- Mendoza (2019): la estandarización de procesos de calidad reduce los costos de no conformidad hasta en 12 %.

- Quispe (2021): la gestión PMBOK® en proyectos industriales mejora la eficiencia del cronograma en un 18 %.
- Sánchez (2022): la madurez en gestión de proyectos EPC se correlaciona con un aumento del 15 % en la productividad global.

El presente trabajo amplía estas evidencias al contexto del SCADA-BMS ferroviario, demostrando que las buenas prácticas del PMBOK® pueden adaptarse eficazmente a proyectos de automatización y control.

4. Discusión Integral

Al analizar los resultados, queda claro que la gestión de calidad no puede verse como algo aislado, sino como un sistema estratégico que une de forma directa la ingeniería, la planeación y la ejecución. En el caso del sistema SCADA-BMS, la propuesta que implementamos logró reducir las desviaciones a menos del 5 %, un nivel que, según los estándares del PMI, se considera propio de un proyecto exitoso. En resumen, el modelo que presentamos consolida un enfoque integrado, medible y replicable, que puede aplicarse no solo en los próximos tramos del Metro de Lima, sino también en otros proyectos industriales bajo modalidad llave en mano.

CONCLUSIONES

La presente tesis permite concluir que la planificación de la calidad, bajo el marco del PMBOK®, fue determinante para establecer una estructura más sólida y clara de estándares, indicadores y procedimientos en el proyecto SCADA BMS. Esta base robusta impulsó, de forma concreta, una trazabilidad documental más eficiente y una coordinación interdisciplinaria notablemente mejorada. Gracias a esta planificación sistemática, se redujeron los retrabajos del 12 % al 4 % y el SPI aumentó de 0.85 a 0.98, demostrando que una buena programación respaldada por criterios de calidad garantiza la ejecución oportuna, la prevención de desviaciones y el cumplimiento de la línea base del cronograma. Esta conclusión responde al Objetivo Específico 1 y confirma la Hipótesis Específica 1.

Confirmar que la implementación del sistema de aseguramiento de la calidad (QA), mediante auditorías internas, revisión técnica del EDI/planos y validación de procesos constructivos, redujo la variabilidad técnica y mejoró la eficiencia operativa en campo. El 96 % de las NCR fueron cerradas dentro del plazo y se optimizó la coordinación entre contratista, supervisión (CSIL2) y proveedores internacionales, reduciendo los tiempos de respuesta y las observaciones contractuales.

Esta evidencia confirma la Hipótesis Específica 2 y cumple con el Objetivo Específico 2, demostrando que el aseguramiento proactivo de la calidad fortalece la consistencia técnica y la productividad en obras de automatización y control.

Comprobar que el fortalecimiento del control de calidad, mediante protocolos codificados, una trazabilidad de materiales y validación progresiva de entregables permitió minimizar fallas, reprocesos y sobrecostos durante la instalación del sistema SCADA-BMS. El CPI aumentó de 0.89 a 1.02, evidenciando una mejora del 15 % en la eficiencia económica, y la reducción del retrabajo consolidó una gestión eficiente del presupuesto. De esta forma, se valida la Hipótesis Específica 3 y se cumple el Objetivo Específico 3, confirmando que un control de calidad preventivo garantiza la optimización del presupuesto y la sostenibilidad financiera del proyecto.

Demostrar que la aplicación integral del modelo de gestión de la calidad basado en el PMBOK®, complementada con el enfoque de mejora continua PDCA (Plan–Do–Check–Act), promovió la eficiencia técnica y consolidó una cultura organizacional orientada a la calidad. Se logró incrementar la productividad en 20 % y reducir el tiempo promedio de cierre de NCR en 60 %, validando la Hipótesis General y el Objetivo General, según los cuales la gestión de la calidad mejora el cronograma y reduce los costos del proyecto. Así, se demuestra que la calidad, gestionada de forma estructurada y transversal, constituye un factor crítico de éxito en proyectos EPC complejos como el sistema SCADA-BMS de la Línea 2 del Metro de Lima.

RECOMENDACIONES

En base a lo desarrollado se recomienda mejorar la integración de la gestión de la calidad con la planificación del proyecto desde las fases iniciales. El plan de calidad aprobado tiene que enlazarse directamente con el cronograma, la EDT y los hitos contractuales, incorporando los *'quality gates'*, matrices de trazabilidad que aseguren la coherencia y relación entre tiempo programado, costo aprobado y alcance definido en el contrato.

Optimizar los mecanismos de aseguramiento de la calidad (QA) mediante herramientas digitales colaborativas. El uso de plataformas tecnológicas como SharePoint, Power BI, Aconex entre otros que permitirá registrar-almacenar, revisar y aprobar documentos, NCR, protocolos FAT/SAT y demás documentos en tiempo real, reduciendo los retrasos por validaciones manuales y fortaleciendo la comunicación / entre contratista, supervisión y concedente.

Para garantizar la calidad de nuestros proyectos de manera consistente, se recomienda crear un sistema unificado de control de calidad. Este sistema establecerá reglas claras, métodos de trabajo comunes y criterios precisos para medir los resultados. Además, estará alineado con los estándares internacionales PMBOK® e ISO 9001, e incluirá auditorías periódicas. El objetivo de estas auditorías es identificar a tiempo posibles desviaciones, evaluar la eficiencia de los procesos y fomentar una cultura de mejora continua, priorizando siempre el control preventivo.

Integrar un programa permanente de capacitación técnica y de gestión en calidad y proyectos. Se sugiere desarrollar entrenamientos periódicos en PMBOK®, ISO 9001 y gestión documental QA/QC, destinados a ingenieros, supervisores y técnicos, asegurando un conocimiento homogéneo y la aplicación uniforme de los procedimientos de calidad en todos los niveles del proyecto.

Realizar la institucionalización de un Comité de Calidad y Mejora Continua, encargado de consolidar las lecciones aprendidas, evaluar indicadores de desempeño (SPI, CPI, NCR) y difundir las buenas prácticas en futuros proyectos.

Este mecanismo permitirá mantener la eficiencia lograda, replicar el modelo en otros tramos del Metro de Lima y fomentar una cultura organizacional orientada a la excelencia y sostenibilidad.

REFERENCIAS

- Alvarado Quito, K. & Merchán Sánchez, D., 2023. *Modelo de gestión para proyectos construcción basado en la metodología PMBOK. Caso: producción masiva de viviendas de interés social*, Guayaquil - Ecuador: [Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil- UTEG].
- Anon., 2015. International Organization for Standardization – Fundamentals and vocabulary. *ISO 9000:2015 Quality management systems*.
- Berenguel Felices, F., 2021. *El contrato Llave en mano, una propuesta metodológica para determinar su aplicación en infraestructuras públicas en España*, Madrid: Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- Chungah Rojas, E., Cong Artaza, A. J. & Miranda Sánchez, H. J., 2023. *Propuesta de proyecto de implementación de una herramienta de inteligencia artificial para la gestión de la calidad según el PMBOK® sexta edición en el proceso de exportación en una asociación de productores de banano orgánico en Querecotillo, en el año 2*, Lima: Tesis de Posgrado, Universidad Tecnología del Perú.
- Correa Villamizar, D. K., Ramírez Gutiérrez, D. A. & Lancheros Arias, L. C., 2022. *Aplicación de metodologías ágiles para la planificación de proyectos de infraestructura vial en Bogotá*, Bogotá: Universidad Ean.
- Eden, P. T. J., 2024. *iseño e Implementación de un Sistema SCADA para el monitoreo remoto de variables de Flujo, Presión y Nivel en estaciones de bombeo y reservorios de agua en la ciudad de Trujillo*, Trujillo: Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo.
- Liu, X. Z. Y. & L. L., 2017. *Integration of SCADA and BMS for efficient building management*. s.l.:Energy Procedia.
- Martínez Domínguez, A. G., 2024. *Optimización de recursos en el diseño y supervisión de*, Piura - Peru: [Tesis de pregrado, Universidad de Piura].

- Montalvo Delgado, R. C. & Ordonez Guevara, J., 2014. *Análisis de la gestión de la calidad en el Metro de Lima - Línea 1 Tramo 2 bajo los estándares generales de la guía del PMBOK*, Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Posgrado.
- Proinversión, 2014. *Contrato de Concesión del Proyecto "Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao"*, Lima, Perú: Agencia de Promoción de la Inversión Privada – Proinversión.
- Reque Suárez, D. A., 2024. *Aplicación de los estándares PMBOK para la mejora de la gestión de la calidad en la fase de ingeniería y construcción de un edificio multifamiliar, Liberty, Lima 2023.*, Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Rumane, A. R., 2017. *Quality Management in Construction Projects*. Boca Raton: CRC Press.
- Sifuentes Villarroel, L. E., 2024. *Aplicación de metodologías y buenas prácticas en el desarrollo de soluciones BMS*, Lima: Trabajo de Suficiencia profesional, Universidad de Lima.
- Sumaran Layza, R. Y. & Echevarria Lozano, G. M., 2022. *Aplicación de la guía PMBOK para mejorar la gestión del cronograma, calidad y recursos humanos en la rehabilitación de la I.E. N°80628, Trujillo 2022*, Lima: Universidad Privada del Norte.
- Zhao, Y. L. W. & Z. Y., 2019. *Application of integrated SCADA-BMS system in building management*. 10(1) ed. s.l.:Journal of Building Performance.

ANEXO A: Matriz de consistencia

Título: Gestión de la calidad basada en el PMBOK® para optimizar el cronograma y reducir los costos del proyecto llave en mano SCADA-BMS de la Línea 2 del Metro de Lima				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
¿De qué manera se mejora el cronograma y reduce los costos del proyecto llave en mano del sistema SCADA-BMS de la Línea 2 del Metro de Lima?	Proponer la gestión de la calidad basado en PMBOK® para mejorar el cronograma y reducir los costos del proyecto llave en mano del sistema SCADA-BMS Tramo 6 de la Línea 2 del Metro de Lima.	La propuesta de gestión de la calidad basado en PMBOK® mejora el cronograma y reduce los costos del proyecto llave en mano del sistema SCADA-BMS de la Línea 2 del Metro de Lima.	VI: Gestión de la calidad basada en el PMBOK® VD: Desempeño del proyecto llave en mano del sistema SCADA-BMS Metro de Lima – Línea 2	Enfoque: Mixto (cualitativo-cuantitativo). - Cualitativos: Entrevistas y análisis documental. - Cuantitativos: medición de tiempos, costo y calidad. Diseño: Cuasi-experimental y descriptivo
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECIFICO:	HIPÓTESIS ESPECIFICA:		
a) ¿De qué manera Cómo evitar desviaciones en el cronograma y costos por retrabajos/no conformidades en una etapa temprana del proyecto? b) ¿De que manera se puede evitar tener interferencias en la ejecución de actividades críticas? c) ¿Cómo puede mejorarse el control de calidad para garantizar el material y evitar fallas que retrasan la obra y aumentan los costos? d) ¿Qué acciones pueden optimizar la productividad y eficiencia en la ejecución del proyecto bajo el enfoque de mejora continua en la gestión de la calidad?	a) Planificar la gestión de la calidad basado en PMBOK® para el proyecto SCADA-BMS Tramo 6, para optimizar el cronograma y los costos del proyecto. b) Gestionar l aseguramiento de la calidad en el sistema SCADA-BMS Tramo 6 para que garanticen la correcta ejecución de actividades críticas del proyecto. c) Establecer mecanismos de control de la calidad basado en el PMBOK en el sistema SCADA-BMS Tramo 6 para reducir fallas, retrabajos y desvíos en cronograma y costos. d) Proponer un modelo de mejora continua en la gestión de la calidad del sistema SCADA-BMS para optimizar la productividad y eficiencia en la ejecución del proyecto.	a) Una correcta planificación de la calidad, con estándares y métricas claras, reducirá los retrabajos y mejorará el cumplimiento del cronograma y presupuesto. b) La implementación de un sistema de aseguramiento de calidad reducirá la variabilidad en los procesos constructivos y mejorará la eficiencia en tiempos y costos. c) Un sistema robusto de control de calidad en materiales y procesos permitirá reducir fallas y minimizar costos adicionales por retrabajo. d) La aplicación de metodologías de mejora continua incrementará la productividad, optimizando tiempos y reduciendo costos.	Población Todos los actores involucrados en el proyecto SCADA-BMS tramo 6 de la Línea 2 del Metro de Lima. Muestra: Un grupo de subcontratistas, supervisores y gestores de calidad involucrados en el proyecto.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos: Entrevistas, analisis documental y observacion directa Técnicas e instrumentos de análisis y procesamiento de datos: Análisis cualitativo: Entrevista, clasificación. Análisis Cuantitativo: Analisis estadístico, tendencias, Costo-beneficio y herramientas seran tecnologicas , Ms Project, Excel

ANEXO B: Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
VI: Gestión de la calidad basada en el PMBOK®	Conjunto de procesos, políticas y actividades descritos en la Guía del PMBOK® que permiten garantizar que el proyecto cumpla con los requisitos de calidad establecidos. Se orienta a la planificación, aseguramiento, control y mejora continua de los procesos y entregables, con el fin de evitar retrabajos, optimizar recursos y asegurar la satisfacción del cliente.	Se medirá a través de la aplicación efectiva de los procesos de gestión de la calidad del PMBOK® en el proyecto SCADA-BMS: identificación de estándares, implementación de controles, realización de auditorías y acciones de mejora. Se evaluará mediante encuestas, revisión documental y análisis de reportes técnicos del proyecto	Planificación de la calidad.	Actividades planificadas con criterios de calidad definidos.
			Aseguramiento de la calidad.	Auditorías realizadas
			Control de la calidad.	No conformidades
VD1: Optimización del cronograma	Grado en que las actividades del proyecto se ejecutan conforme a los tiempos establecidos en el cronograma base, garantizando la entrega oportuna de los hitos planificados. Refleja la eficiencia en la programación, coordinación y control de tareas dentro del marco temporal definido.	Se medirá a partir de los registros de avance físico y los reportes de control de cronograma del proyecto SCADA-BMS. Se utilizarán indicadores como el porcentaje de cumplimiento del cronograma, la variación de plazos y el índice de desempeño del cronograma (SPI).	Cumplimiento de cronogramas	- % de cumplimiento de hitos programados - Variación de plazos (días) - Índice de desempeño del cronograma (SPI)
VD2: Reducción de costos	Nivel de control y eficiencia con que se administran los recursos financieros del proyecto, asegurando la ejecución dentro del presupuesto aprobado y reduciendo sobrecostos por fallas, retrabajos o ineficiencias.	Se medirá mediante la comparación del presupuesto planificado y los costos reales de ejecución, considerando sobrecostos y retrabajos reportados. Se evaluará con indicadores financieros del proyecto y el índice de desempeño de costos (CPI).	Control de Costos	- Variación de costos (planificado vs real) - % de sobrecostos por retrabajos - Índice de desempeño de costos (CPI)

ANEXO C: Aprobación del Plan de Control de Calidad Ingeniería Owner - EPC

HITACHI Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao
Hitachi Rail STS

EMISIÓN DOCUMENTO HITACHI Fecha 15-09-2024

Nombre y Apellido	Designación	Firma
Autor/Propietario C. Minaya	Ingeniero de calidad de proyectos	
Verificador B. Manns	Manager - S&T Gerente de garantía de calidad QA Americas	
Aprobador I. Stanzione	S&T Gerente de garantía de calidad	
Validador/RAMS N/A	N/A	
Autorizador S. Castro	Ingeniero de proyecto	

SUBSISTEMA SCADA BMS - (ETAPA 1B) - Plan de Calidad del Sistema SCADA BMS
Página 2 de 205

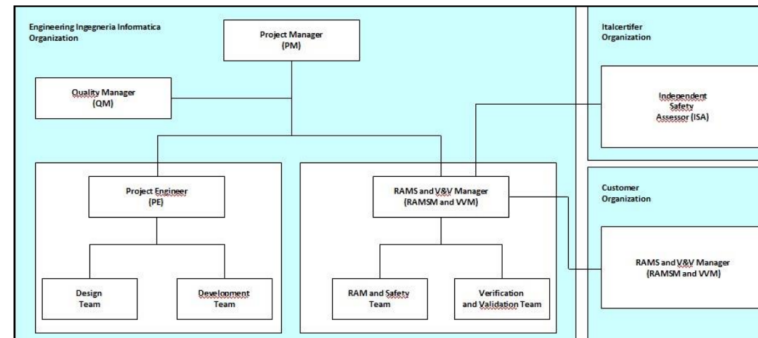
Proveedor QA/QC - Organigrama

HITACHI Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao
Hitachi Rail STS

EMISIÓN DOCUMENTO Proveedor Engineering Ingeniería Informática Fecha 15-09-2024

Nombre y Apellido	Designación	Firma
Autor L. Vella, R. Palma, M. Maglio, L. Angrisani	Ing. de BMS HMI Estándar, Ing. de BMS HMI Seguro, Ing. de BMS Concentrador PLC, Ing. de BMS Red TIC	
Verificador A. Ragosta	Ingeniero de Proyecto	
Aprobador F. Nudo	Gerente de Proyecto	

SUBSISTEMA SCADA BMS - (ETAPA 1B) - Plan de Calidad del Sistema SCADA BMS
Página 2 de 205



ANEXO D: Productos de Entrega EDI

Elemento	Título
Planificación	
1	Plan de gestión de la calidad
2	Plan de gestión de la configuración
3	Plan de garantía de calidad del software
4	Plan de verificación y validación
5	Plan de gestión de RAM
6	Plan de gestión de la seguridad
Requisitos	
7	Identificación y análisis de peligros y registro de peligros
8	Especificación de requisitos de seguridad
Diseño	
9	Descripción de la arquitectura
10	Lista de materiales
11	Fichas técnicas de los componentes
12	Diagramas y esquemas eléctricos
13	Descripción de equipos y bastidores
14	Diagramas de bloques de la arquitectura del sistema
15	Especificación de requisitos del software
16	Especificación de arquitectura y diseño del software
17	Especificación de la interfaz hombre-máquina
18	Especificación de interfaces
Verificación	
19	FMEA de la arquitectura (análisis de la seguridad)
20	Informe de RAM
21	Especificación de pruebas de componentes de hardware
22	Especificación de pruebas de módulos de software
23	FMEA de arquitectura y diseño de software (análisis de la seguridad)
24	Especificación de pruebas de integración de software/hardware
Validación	
25	Especificación de la prueba de aceptación en fábrica
26	Especificación de la prueba de aceptación en el sitio
Instalación, operación y mantenimiento	
27	Especificaciones de instalación
28	Manual del administrador
29	Manual de mantenimiento
30	Manual del usuario
Informes	
31	Informe(s) de pruebas de componentes de hardware
32	Dossier de EMI/EMC
33	Informe(s) de pruebas de módulos de software
34	Informe(s) de pruebas de integración de software/hardware
35	Informe de verificación de arquitectura y diseño del software
36	Informe de verificación de garantía de calidad del software
37	Informe de validación de herramientas
38	Caso de seguridad del diseño
39	Informe(s) de la prueba de aceptación en fábrica
40	Informe(s) de la prueba de aceptación en el sitio
41	Informe de verificación y validación
42	Caso de seguridad de la implementación

ANEXO E: Aprobación del Plan de Control de Calidad Construcción

Owner - EPC

HITACHI Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao
Hitachi Rail STS

EMISIÓN DOCUMENTO **HITACHI** Fecha 18-09-2025
Hitachi Rail STS

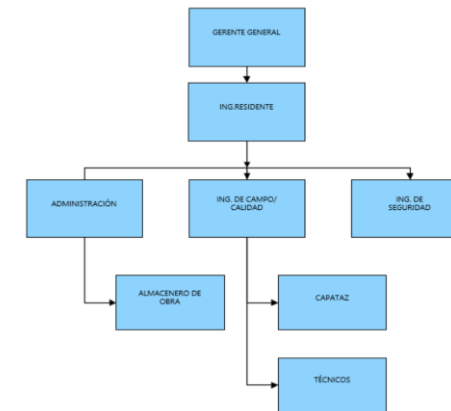
	Nombre y Apellido	Designación	Firma
Autor/Propietario	J. MORENO	SENIOR TECHNOLOGICAL SITE SUPERVISOR	
Verificador	C. MINAYA	PROJECT QUALITY ENGINEER	
Aprobador	A. PILARES	PRINCIPAL CONSTRUCTION MANAGER LATAM	
Validador/RAMS	N/A	N/A	
Autorizador	J. CABALLERO	CONSTRUCTION MANAGER	

Proveedor QA/QC - Organigrama

HITACHI Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao
Hitachi Rail STS

EMISIÓN DOCUMENTO Proveedor INCON CONSULTING SAC Fecha 18-09-2025

	Nombre y Apellido	Designación	Firma
Autor	J. CHAVARRIA	SUPERVISOR DE OBRA	
Verificador	A. ROMERO	SUPERVISOR DE OBRA	
Aprobador	E. MENDOZA	GERENTE DE OBRA	



ANEXO F: Interferencias en Sitio

<p>PLANO</p>	<p style="text-align: center;">CENTES DE ESTACIÓN 1.11 – VISTA FRONTAL</p>	<p>Detalle de Plano de Instalación y montaje. Actualizar la ingeniería.</p>
<p>EN SITIO</p>	<p style="text-align: center;">5.67 m</p>	<p>Se identifico otros sistemas ya instalados.</p>

ANEXO G: Observaciones en los protocolos Instalación

001705

001706

HITACHI Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambeta de la
Hitachi Rail STS Red Básica del Metro de Lima y Callao

SIFEL RAIL

1. Información General

Ubicación: Estación 20 EUTIMIENTO

2. Inspección Visual

Nombre: Armario de Estación Concentrador PLC
BMS CONCENTRADOR PLC

2.1. Montaje Mecánico

Acciones de Verificación	SI	Observaciones
Instalación general correcta	✓	
Nivelación	✓	
Integridad física externo e interno	✓	
Identificación externa	✓	Falta off cables
Verificación de señales de advertencia	✓	
Aterramiento	✓	Continuar aterramiento
Fijación de Armario a Base frame (Torque)	✓	
Base frame instalado correctamente	✓	

2.2. Verificación Interna

Acciones de Verificación	SI	Observaciones
Disposición ordenada de los componentes	✓	Falta planos aprobados
Disposición ordenada de los cables	✓	Continuar etiquetado de cables VTP y eléctricos
Rotulado de los cables y componentes	✓	Falta planos aprobados

2.3. Cableado de Campo

Acciones de Verificación	SI	Observaciones
Ordenamiento del cableado	✓	
Identificación del cableado	✓	
Conexión del cableado	✓	

Protocolo de Pruebas ICI de Armario Concentrador PLC y Switch – SCADA BMS
Copyright © SIFEL RAIL SAC 2021 All Rights Reserved. Página 3 de 5

HITACHI Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambeta de la
Hitachi Rail STS Red Básica del Metro de Lima y Callao

SIFEL RAIL

3. Resultado

COMENTARIOS

1. Conector RJ-45 incompatible con cable VTP instalado dentro gabinete switch/era
2. Corregir radio de curvatura de cable VTP en canal de cableado / Armario / Armario
de cable VTP y eléctricos en la canalización gabinete / Corregir almacenamiento
del gabinete / Corregir posición de conectores RJ-45 dentro la legada
del gabinete era / Corregir posición de cables VTP con cintas / Falta
rotulación de cables VTP

Los firmantes dan fe de la total culminación de las pruebas. Se entiende y acepta la totalidad de los resultados plasmados en este protocolo.

Pruebas de inspección satisfactorias sin observaciones	
Pruebas de inspección satisfactorias con observaciones	X

SIFEL RAIL:

Nombre y Apellidos: Gómez Jorge Franco

Firma: [Firma]

STS:

Nombre y Apellidos: RONEL MONTALVAN AMBROSIO

Firma: [Firma]

CSIL2:

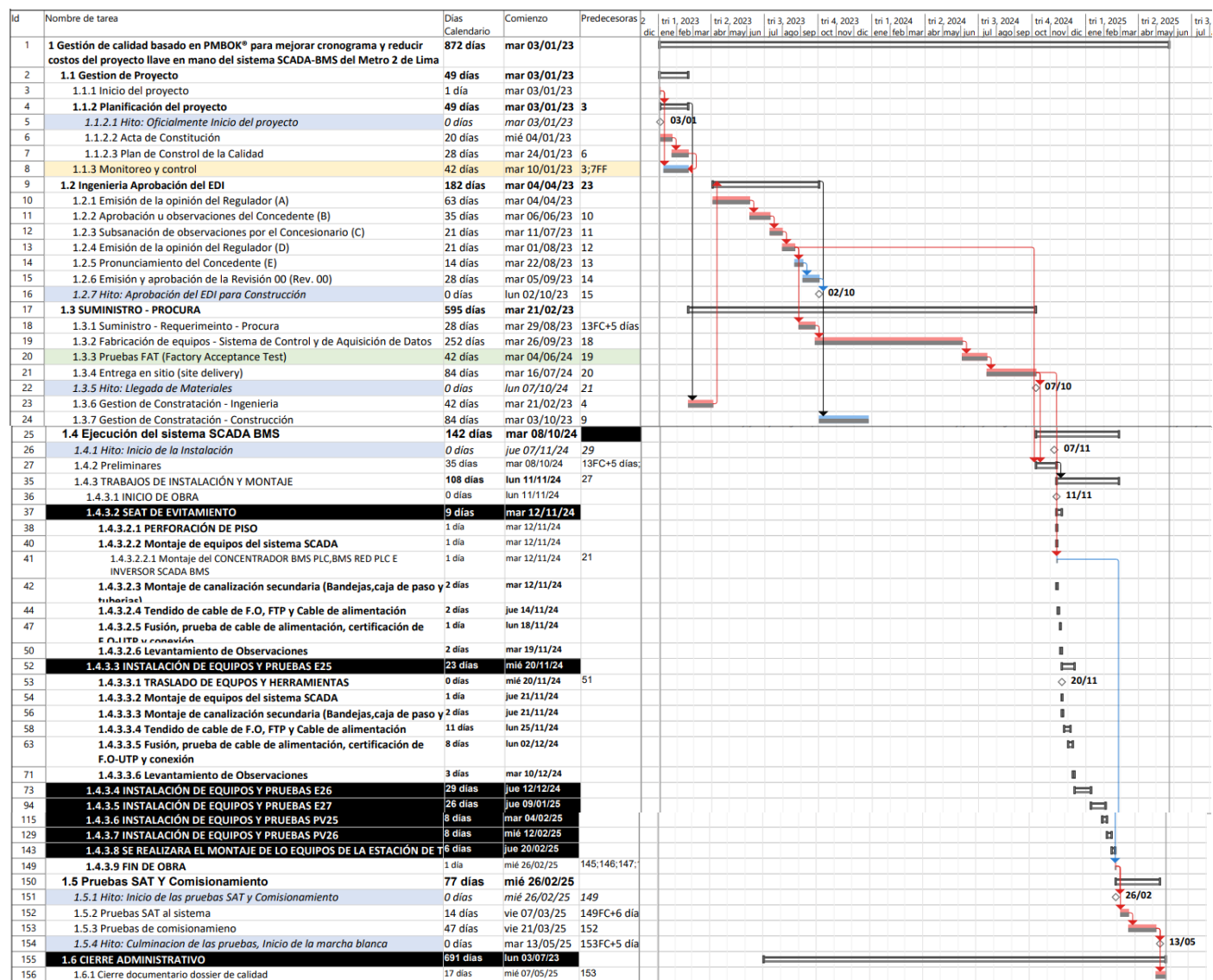
Nombre y Apellidos: [Firma]

Firma: [Firma]

Lima 5 de 12 del 2021

Nota: Principalmente la observación es por Planos Aprobados, lo cual no nos permitió tener un protocolo completamente liberado

ANEXO H: Cronograma Aprobado – Línea base del proyecto







ANEXO I: Presupuesto

WBS	Partida / Subpartida	Monto (USD)	Plan Ejecutado (USD)	Avance %	Variación %
1.0	Gestión del Proyecto	25 000	25 000	100	0
1.1	Planificación PMP, seguimiento, reuniones	25 000	25 000	100	0
2.0	Ingeniería	195 000	195 000	100	0
2.1	Ingeniería Básica (40 %)	78 000	78 000	100	0
2.2	Ingeniería Detalle (60 %)	117 000	117 000	100	0
3.0	Procura y Suministros	1 072 868	1 061 662	99	-1
3.1	Gabinetes BMS (6 uds. × 157 027 USD)	942 162	942 162	100	0
3.2	Suministros locales eléctricos y mecánicos	20 706	19 500	94	-3
3.3	Transporte, aduana y logística	110 000	100 000	91	-9
4.0	Construcción – Instalación Campo	181 798	174 000	96	-2
4.1	Montaje eléctrico y bandejas	90 000	87 000	97	-3
4.2	Montaje HVAC y gabinetes	45 000	43 000	95	-4
4.3	Cableado y puesta a tierra	46 798	44 000	94	-6

WBS	Partida / Subpartida	Monto (USD)	Plan Ejecutado (USD)	Avance %	Variación %
5.0	Pruebas SAT y Comisionamiento	310 000	125 000	40	-60
6.0	Cierre QA/QC y Dossier Final	18 000	0	0	-100
7.0	Costos Indirectos (90 días)	78 543	79 500	101	+1
8.0	Supervisión Fabricante en Sitio	110 000	85 000	77	-23
9.0	Utilidad 25 % (Directos + Indirectos)	333 302	333 302	100	0
TOTAL PROYECTO		2 324 511 USD	2 078 464 USD	89 %	-5 % (favorable)

ANEXO J: Tiempo de Aprobación de las FAT de los equipos.

INDIVIDUAL TEST REPORT																	
 																	
Number	: PROT.: 685.6/24/GM/rf																
Project	: Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao																
Date	: ABRIL 2024																
Designer	: ENGINEERING INGEGNERIA INFORMATICA S.p.A.																
Manufacturer's RTU Cabinet code	: 1502-D.Q./23A6 BMS RED TLC - SEAT EVITAMIENTO (ATEV)																
Destination of cabinet	: LIMA METRO - BMS SYSTEM																
Cabinet dimension in mm (LxHxD)	: 600x800x600																
Execution	: IP54																
Nominal voltage	: 230/230Vac - 24/24Vdc																
Nominal current	: 4/4A - 4/4A																
Inspection of the conformity rules CEI EN 61439-1																	
8.3.1 Electrical cabinet inspection enclosed therein the wiring control and, if necessary, an electrical functioning test.																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TYPE OF INSPECTION</th> <th>RESULT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inspection of commands and mechanical blocks efficacy</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Visual examination of protection degree</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Verify the insulation degree and capacity of the electric wires</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Random examination of the efficiency of riveted and screwed connections</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Verify the existence and capacity of the identification plate</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Verify the conformity of the apparatus for the wiring circuit diagram</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Verify the correct functioning of the auxiliar circuits</td> <td>OK</td> </tr> </tbody> </table>	TYPE OF INSPECTION	RESULT	Inspection of commands and mechanical blocks efficacy	OK	Visual examination of protection degree	OK	Verify the insulation degree and capacity of the electric wires	OK	Random examination of the efficiency of riveted and screwed connections	OK	Verify the existence and capacity of the identification plate	OK	Verify the conformity of the apparatus for the wiring circuit diagram	OK	Verify the correct functioning of the auxiliar circuits	OK	
TYPE OF INSPECTION	RESULT																
Inspection of commands and mechanical blocks efficacy	OK																
Visual examination of protection degree	OK																
Verify the insulation degree and capacity of the electric wires	OK																
Random examination of the efficiency of riveted and screwed connections	OK																
Verify the existence and capacity of the identification plate	OK																
Verify the conformity of the apparatus for the wiring circuit diagram	OK																
Verify the correct functioning of the auxiliar circuits	OK																
8.3.2 Insulation resistance test																	
The test is conducted by means of the instrument "HT ITALIA FULL TEST HT 2100" mat.: 17091416. The aim of the measure is to verify that between the PE terminal and the active conductors there is presence of insulation resistance at least equal to 1 Mohm with a test voltage of 500Vdc.																	

INDIVIDUAL TEST REPORT													
 													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>MINIMUM SECTION (mm²)</th> <th>MAX VOLTAGE DROP (V)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,0</td> <td>3,3</td> </tr> <tr> <td>1,5</td> <td>2,6</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>1,9</td> </tr> <tr> <td>4,0</td> <td>1,4</td> </tr> <tr> <td>>6,0</td> <td>1,0</td> </tr> </tbody> </table>		MINIMUM SECTION (mm ²)	MAX VOLTAGE DROP (V)	1,0	3,3	1,5	2,6	2,5	1,9	4,0	1,4	>6,0	1,0
MINIMUM SECTION (mm ²)	MAX VOLTAGE DROP (V)												
1,0	3,3												
1,5	2,6												
2,5	1,9												
4,0	1,4												
>6,0	1,0												
Outsime of the test: All the metallic masses, connected to the protection circuit trough suitable section conductors, present a voltage drop that reflects the indicated values. yes <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>													
Pomigliano D'Arco	05/04/2024												
The Compiler	<i>Andrés S. S. S.</i>												



CONSORCIO SUPERVISOR INTERNACIONAL LINEA 2

Octavio Arzapalo
2025.05.07 17:53:11 -05'00'

Lima, 07 de mayo del 2025

SOCIEDAD CONCESIONARIA METRO DE LIMA LINEA 2

07 MAYO 2025

RECIBIDO
NO ES SEÑAL DE CONFORMIDAD
Hora: 4h - 53 - V

CAR-12563-26-CSIL2-CML-0

Señora
CARMEN DEULOFEU PALOMAS
Gerente General
Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2 S.A.
Av. Victor Andrés Belaunde N° 332 Piso 4
San Isidro. -

Asunto: **Subsistema SCADA BMS – (Etapa 1B) - Reporte FAT - de la red de comunicaciones TRAMO 6 referido al Sub EDI 01B-020.**

Referencia: Carta ML2-SPV-CARTA-2025-0672, de 14.03.2025
Servicio de Supervisión Integral de la Concesión de la Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao. Contrato N° 030-2016-OSITRAN

De nuestra consideración,

Nos dirigimos a Ustedes para saludarles y en relación a los documentos adjuntos a la carta de la referencia:

> ML2-EII-01B-D-020-GRAL-AISBM-DIS-RP-2157 - Subsistema SCADA BMS – (Etapa 1B) - Reporte FAT de la red de comunicaciones TRAMO 6.

Nos permitimos manifestarles que después de haber revisado los documentos el resultado de nuestra revisión califica al documento como **"Aprobado con comentarios"**, como consta en el RDT-23-1141-26-CSIL2-CML2-0 adjunto.

Agradecemos su atención a la presente, y quedamos de Ustedes.

Atentamente,

S. S. S.
Dr. Ing. Soon Sup Kwon
Jefe de Supervisión
CONSORCIO SUPERVISOR INTERNACIONAL LINEA 2

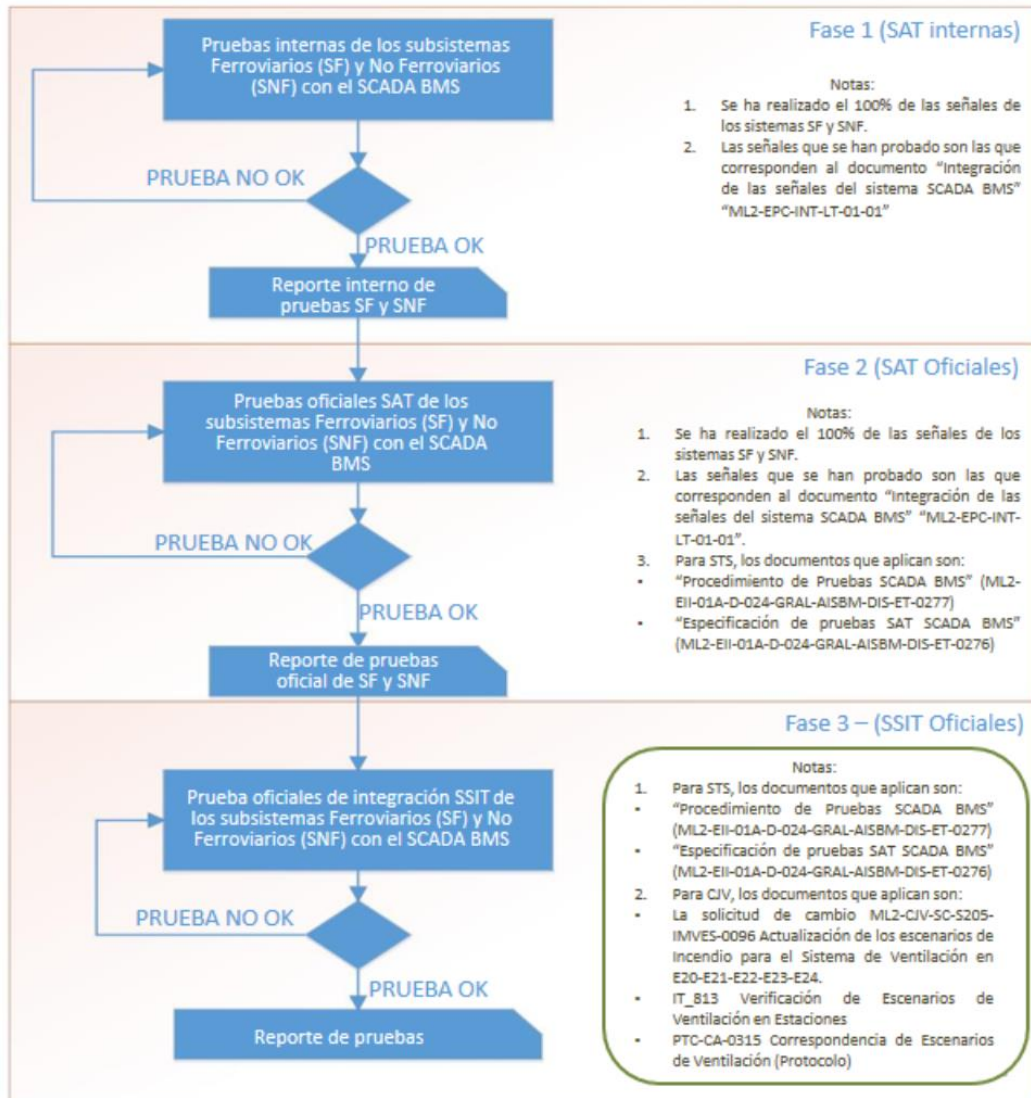
CP - Francisco, Ismaelín, Teresina - Planta de Renovación y Rehabilitación (R) - OSITRAN

Nota: Realizado las FAT el 05/2024, Las observaciones llegaron el 05/2025. Tiempo de Aprobación es 1 año.

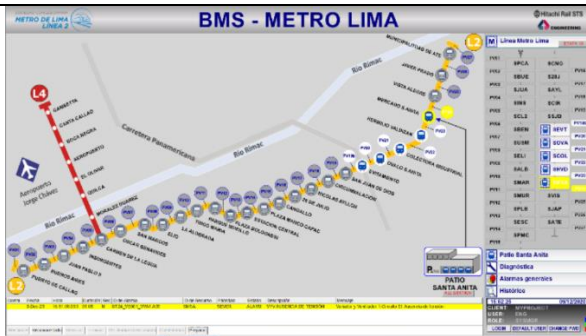
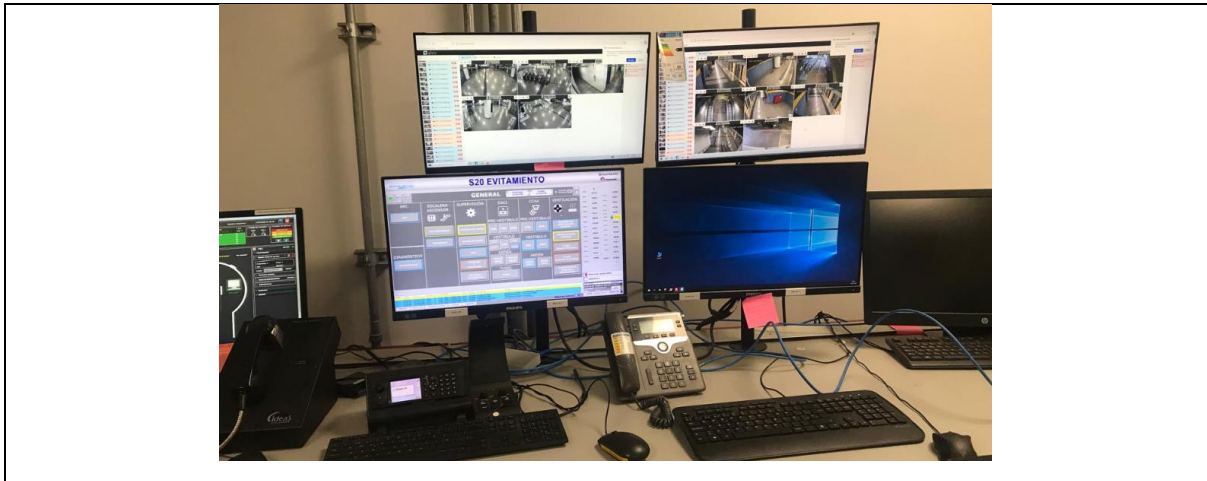
ANEXO L: Programa de Inspección y Pruebas (Instalación)

HITACHI Hitachi Rail STS		Programa de Inspección y Pruebas										Código:	ML2-ST5-INC-PIP-004-ES-00				
InCon		Programa de Control de Inspección y Pruebas										Revisión:	00				
												Fecha:	18/09/2025				
Proyecto		Metro de Lima Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao										ML2-ST5-FOR-010-ES-02					
Contralista	INCON	Sistema	AI	Subsistema	SCA	Equipo	N/A	Actividad	INSTALACIÓN DE SISTEMA SCADA BMS			Lugar	TRAMO 06				
N°	Actividad	Rol del Responsable	Documento de Referencia			Punto de Control	Criterio de Aceptación		Nivel de Inspección		Pre- condiciones	Registros	Equipos de Inspección / Medición / Ensayo	Frecuencia de Inspección	Tipo de Intervención		
			Procedimiento	Código	Norma Técnica		Requerimiento	Aceptación	Nro	Descripción					Contralista	STS	Cliente
1	RECEPCIÓN Y VERIFICACIÓN DE MATERIALES Y/O EQUIPOS	ING. CALIDAD / ING. DE CAMPO	PROCEDIMIENTO PARA EL MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA SCADA BMS	ML2-AST-GEN-C-000 GRAL-AISCA-GEN-PR-2101	N/A	Los materiales cuentan con certificados de calidad y hojas técnicas aprobadas.	1- Guía de remisión de los productos a entregar. 2- Certificado de Calidad de Bandejas Tubos IMC perneras, tuberías flexibles, rieles univistud, etc.	1- Las características de los productos coinciden con lo que indica la guía de remisión. 2- La marca, modelo y características técnicas coinciden con los certificados de calidad.	1	Inspección visual	N/A	Guía y certificado de calidad	N/A	100%	R	R	R
						Verificación de las dimensiones (ancho, largo y espesor de la plancha) de las bandejas tubos IMC, accesorios etc.	-Hoja Técnica de los materiales.	Las bandejas tubos IMC y accesorios cumplen con las características de acuerdo a las especificaciones técnicas.	2	Control dimensional	N/A	Guía y certificado de calidad	N/A	1 de cada 50 unidades	R	R	N
2	TRASLADO E INSTALACIÓN DE GABINETES	ING. CALIDAD / ING. DE CAMPO	PROCEDIMIENTO PARA EL MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA SCADA BMS	ML2-AST-GEN-C-000 GRAL-AISCA-GEN-PR-2101	N/A	-Transporte y manipulación de los gabinetes. -Verificación del ajuste del perno.	-Verificar que el embalaje sea el adecuado y estén bien sujetos para la maniobra.	Cumplir con el embalaje adecuado y el sujetado al realizar la maniobra.	5	Pruebas	N/A	1- ML2-AST-FOR-020 2- ML2-AST-FOR-024	N/A	100%	R	R	N
3	INSTALACIÓN DE LOS GABINETES	ING. CALIDAD / ING. DE CAMPO	PROCEDIMIENTO PARA EL MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA SCADA BMS	ML2-AST-GEN-C-000 GRAL-AISCA-GEN-PR-2101	N/A	-Verificación del área de instalación (Nivelación, espacio disponible y accesibilidad) -Revisión de los planos de instalación y especificaciones técnicas -Inspección del estado del gabinete antes de su instalación	-Ficha técnica del gabinete -Planos aprobados -Tabla de torque	La ficha técnica coincide con las características del gabinete. -El plano de ubicación sean el correcto -Pernos de anclaje con el torque correspondiente	2 y 5	Control dimensional y Prueba	N/A	1- ML2-AST-FOR-020 2- ML2-AST-FOR-021 3- ML2-AST-FOR-024	Flexómetro y Torquímetro	100%	R	R	N
4	CANALIZADO SECUNDARIO	ING. CALIDAD / ING. DE CAMPO	PROCEDIMIENTO PARA EL MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA SCADA BMS	ML2-AST-GEN-C-000 GRAL-AISCA-GEN-PR-2101	N/A	-Instalación de Bandeja y Tubos alineados y a nivel	-Plano de Instalación aprobados -Nivel de mano en buen funcionamiento	-Las bandejas y/o tubos se encuentren alineados y a nivel	1 y 2	Inspección visual y Control dimensional	N/A	1- ML2-AST-FOR-025 2- ML2-AST-FOR-026 3- ML2-AST-FOR-027	Flexómetro y Nivel de mano	100%	R	R	H
5	INSTALACIÓN DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS, CABLE UTP Y FIBRA ÓPTICA	ING. CALIDAD / ING. DE CAMPO	PROCEDIMIENTO PARA EL MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA SCADA BMS	ML2-AST-GEN-C-000 GRAL-AISCA-GEN-PR-2101	NTP 370.304	Instalación de conductores Eléctricos	- Plano de instalación aprobados -Conductor eléctrico en buen estado Prueba de continuidad y medición de resistencia de aislamiento	Cumplir con las pruebas de continuidad y la medición de resistencia de aislamiento.	5	Pruebas	N/A	ML2-AST-FOR-025	Megohmetro y Multímetro	100%	R	R	H
					ANS/ITA-569AB	Instalación de UTP	- Plano de instalación aprobados -Cable UTP en buen estado -Certificación del cable UTP.	-Cumplir con los parámetros establecidos para la certificación.	5	Pruebas	N/A	ML2-AST-FOR-026	Certificador de cable estructurado	100%	R	R	H
					ANS/ITA 568	Instalación de Fibra óptica	- Plano de instalación aprobados -Fibra óptica en buen estado. -Certificación de la fibra óptica	-Cumplir con los parámetros establecidos para la certificación.	5	Pruebas	N/A	ML2-AST-FOR-024	Certificador de cable estructurado	100%	R	R	H
6	CONEXIÓN DE CABLE DE PUESTA A TIERRA	ING. CALIDAD / ING. DE CAMPO	PROCEDIMIENTO PARA EL MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA SCADA BMS	ML2-AST-GEN-C-000 GRAL-AISCA-GEN-PR-2101	N/A	Verificación del ajuste del perno	-Tabla de torque correspondiente	-Pernos de aterramiento con el ajuste correspondiente	5	Pruebas	N/A	ML2-AST-FOR-021	Torquímetro	100%	R	R	H

ANEXO M: Diagrama de Flujo Integración



ANEXO N: Equipos funcionando



ANEXO O: Organigrama Owner del proyecto SCADA BMS

