

GESTIÓN DE LA CALIDAD EN EL PROYECTO SOLAR PUERTA DE ORO

JUAN CAMILO ARIAS PARADA
DIXON XAVIER ZAMBRANO PATIÑO

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
GIRARDOT, CUNDINAMARCA
2025

GESTIÓN DE LA CALIDAD EN EL PROYECTO SOLAR PUERTA DE ORO

JUAN CAMILO ARIAS PARADA
juan-arias16@upc.edu.co
DIXON XAVIER ZAMBRANO PATIÑO
dixon-zambrano@upc.edu.co

Monografía presentada como opción de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Docente
JUAN DAVID SOTO MARROQUIN
Ingeniero Civil
Esp. En Gerencia de Proyectos
Mgtr. En urbanismo
juan-soto4@unipiloto.edu.co

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
GIRARDOT, CUNDINAMARCA
2025

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

CONTENIDO

	Pág.
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	12
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GENERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4. MARCO REFERENCIAL	15
4.1 ANTECEDENTES	15-16
4.2 MARCO TEÓRICO	16
4.3 MARCO CONCEPTUAL	16-17
4.4 MARCO LEGAL	17-18
4.5 MARCO GEOGRÁFICO	18-19
4.6 MARCO DEMOGRÁFICO	20
5. DELIMITACIÓN	21-22
6. DISEÑO METODOLÓGICO	23-24-25
7. RECURSOS	26
7.1 HUMANO	26
7.2 MATERIAL	26
8. DESARROLLO PROPUESTA	27-28-29
9. CONCLUSIONES	30-31
10. RECOMENDACIONES	32

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Indicadores KPI de calidad en obra civil	35
Tabla 2 Tabla comparativa de normas aplicadas	36
Tabla 3 Cronograma simplificado de control de calidad	36
Tabla 4	x

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ubicación geográfica del Departamento Cundinamarca	18
Figura 2 Ubicación geográfica de los municipios de Guaduas y Chaguaní del departamento de Cundinamarca	19
Figura 3 Ubicación geográfica del Proyecto Solar Puerta de Oro	19
Figura 4 Diagrama de flujo de gestión de calidad en obra civil	36
Figura 5 Formato de No Conformidad	37
Figura 6 Indicador KPI Control estadístico de concretos	38
Figura 7 Indicador KPI Índice de rechazos en ensayos	38

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A Indicadores KPI de calidad en obra civil	35
Anexo B Diagrama de flujo de gestión de calidad	35
Anexo C Tabla comparativa de normas aplicadas	36
Anexo D Cronograma simplificado de control de calidad	36
Anexo E Formato de No Conformidad	37
Anexo F Indicador KPI Control estadístico de concretos	38
Anexo G Indicador KPI Índice de rechazos en ensayos	38

RESUMEN

En este documento se analiza la implementación de las prácticas en la gestión de calidad de la obra civil en el Proyecto Solar Puerta de Oro, ubicado entre los municipios de Guaduas y Chaguaní en Cundinamarca, con una capacidad instalada de 360 MWp. El análisis arroja falencias en la frecuencia de hallazgos y la reincidencia de no conformidades, proponiendo lineamientos basados en normas nacionales (NSR-10, RETIE) e internacionales (ISO 9001:2015).

La investigación comprende: un marco conceptual que refleja la bibliografía que apoya este estudio, en bases teóricas y en un marco normativo vigente, así mismo un diseño metodológico aplicado y descriptivo; y, una propuesta de mejora que abarca el fortalecimiento de la supervisión técnica con un plan de capacitaciones regulares al personal, estrategias para controlar documentos e indicadores KPI.

Palabras clave: gestión de calidad, energía solar, indicadores KPI, estrategias de control, Colombia.

ABSTRACT

This document analyzes the implementation of quality management practices for civil works at the Puerta de Oro Solar Project, located between the municipalities of Guaduas and Chaguaní in Cundinamarca, with an installed capacity of 360 MWp. The analysis reveals shortcomings in the frequency of findings and the recurrence of nonconformities, proposing guidelines based on national (NSR-10, RETIE) and international (ISO 9001:2015) standards.

The research includes: a conceptual framework that reflects the literature supporting this study, based on theoretical foundations and a current regulatory framework, as well as an applied and descriptive methodological design; and an improvement proposal that includes strengthening technical supervision with a regular staff training plan, document control strategies, and KPI indicators.

Keywords: quality management, solar energy, KPI indicators, control strategies, Colombia.

INTRODUCCIÓN

La construcción en Colombia enfrenta diversos retos relacionados no solo con la calidad de los procesos constructivos, sino también con la sostenibilidad de los proyectos. Estos desafíos se intensifican en el sector de la energía renovable, donde las obras suelen tener una gran escala y deben cumplir con exigentes estándares técnicos y normativos tanto a nivel nacional como internacional.

En este contexto, el Proyecto Solar Puerta de Oro, ubicado entre los municipios de Guaduas y Chaguaní (Cundinamarca), se presenta como un caso representativo de estudio en donde se evidencian estas dificultades. Con una capacidad instalada de 360 MWp y un avance constructivo cercano al 70 %, este proyecto, ejecutado por el Consorcio Sdoro, involucra la realización de obras civiles, tales como cimentaciones, estructuras metálicas, vías internas, plataformas de montaje y las necesarias para cumplir el alcance físico del proyecto.

Debido a la magnitud y a las particularidades técnicas del proyecto, la gestión de calidad adquiere un papel fundamental, ya que permite garantizar que los materiales, los procesos constructivos y los productos finales cumplan con los requisitos establecidos en la NSR-10, el RETIE y la norma ISO 9001:2015. No obstante, a través de la práctica profesional se ha evidenciado la existencia de múltiples hallazgos, no conformidades y deficiencias en el control documental, lo que refleja la necesidad de fortalecer los procedimientos de seguimiento, verificación y mejora continua dentro del sistema de gestión.

Por lo anterior, el presente trabajo tiene como propósito estudiar e identificar estrategias para la implementación efectiva de prácticas de gestión de calidad en la obra civil del Proyecto Puerta de Oro, con el fin de proponer lineamientos aplicables a futuros proyectos de energía solar en Colombia. De esta manera, se busca contribuir al mejoramiento de la eficiencia operativa, la trazabilidad técnica y la sostenibilidad de las infraestructuras vinculadas al desarrollo energético del país.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

A pesar de contar con procedimientos, manuales y un laboratorio propio para ensayos de control, el Proyecto Solar Puerta de Oro presenta una alta frecuencia de hallazgos y no conformidades, especialmente en aspectos de documentación, ejecución de procesos y trazabilidad de resultados. Esta situación perjudica la eficiencia del proyecto, aumenta los costos y retrasa los cronogramas de ejecución.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo implementar prácticas sobre la gestión de calidad en la obra civil del proyecto solar Puerta de Oro en Guaduas-Colombia?

2. JUSTIFICACIÓN

La gestión de calidad es un pilar esencial en la ingeniería civil moderna, ya que garantiza la ejecución eficiente, segura y sostenible de los proyectos. En el caso del Proyecto Solar Puerta de Oro, la implementación de un sistema de gestión de calidad resulta indispensable debido a la magnitud del proyecto, la diversidad de frentes de trabajo y la necesidad de cumplir con los estándares técnicos y ambientales exigidos por la normativa nacional.

El soporte teórico y metodológico de esta investigación se fundamenta en la norma ISO 9001:2015, la cual establece los requisitos para implementar sistemas de gestión de calidad basados en la mejora continua, la gestión por procesos y la satisfacción del cliente. Esta norma orienta a las organizaciones hacia un enfoque sistemático que garantice la trazabilidad de la información, el control de los procesos y la evaluación constante del desempeño.

Complementariamente, la Guía del PMBOK (Project Management Institute, 2021), en su séptima edición, define la gestión de la calidad como un proceso transversal dentro del ciclo de vida del proyecto, orientado a la planificación, aseguramiento y control de la calidad. Esta guía proporciona herramientas y técnicas aplicables directamente en la construcción, como el uso de indicadores de desempeño (KPI), listas de chequeo (checklists), planes de aseguramiento y control de calidad, y auditorías internas.

El proyecto se justifica además porque promueve la integración de la gestión de calidad como herramienta práctica para optimizar los procesos de obra civil, reducir la reincidencia de no conformidades y fortalecer la cultura de la mejora continua entre los equipos de trabajo. Así, la investigación no solo aporta una propuesta técnica para el control de calidad en proyectos de energía solar, sino que también contribuye a elevar el nivel de competitividad, productividad y sostenibilidad del sector de la construcción en Colombia.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer lineamientos que fortalezcan el control de los procesos, la documentación y el cumplimiento normativo en la aplicación de las prácticas en la gestión de la calidad de la construcción civil del Proyecto Solar Puerta de Oro ubicado en Guaduas-Cundinamarca.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar los procedimientos de la gestión de la calidad aplicados a la obra civil del proyecto.
2. Evaluar indicadores KPI relacionados con ensayos, hallazgos y no conformidades.
3. Aplicar las prácticas actuales frente a normas nacionales e internacionales.
4. Proponer recomendaciones para mejorar la gestión de calidad en proyectos solares de acuerdo a la metodología del PMBOK.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES

El estudio de la gestión de la calidad en obras civiles ha sido objeto de múltiples investigaciones en los últimos años, especialmente a partir de la consolidación de sistemas de gestión basados en la norma ISO 9001:2015. Dichos sistemas han permitido fortalecer los procesos de planeación, control y mejora continua dentro del sector de la construcción, garantizando el cumplimiento de requisitos técnicos, normativos y contractuales (ICONTEC, 2015).

En Colombia, la Ley 1715 de 2014 marcó un punto de partida importante al promover el uso de fuentes no convencionales de energía, entre ellas la solar fotovoltaica. Desde entonces, entidades como la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) han documentado el crecimiento sostenido de proyectos solares a gran escala, destacando la necesidad de incorporar estándares de calidad desde las fases iniciales de construcción para garantizar la confiabilidad estructural y la eficiencia operativa (UPME, 2021).

A nivel nacional, varios estudios han evidenciado que los sistemas de gestión de calidad en obras de infraestructura enfrentan dificultades comunes, entre ellas la falta de trazabilidad documental, el escaso seguimiento a no conformidades y la débil cultura de mejora continua. Por ejemplo, investigaciones desarrolladas por la Universidad Nacional de Colombia (2019) y la Pontificia Universidad Javeriana (2020) demostraron que los proyectos que aplican controles de calidad sistemáticos logran reducir hasta un 25 % los retrabajos y los costos asociados a fallas constructivas.

En el ámbito de las energías renovables, la gestión de calidad ha adquirido un rol aún más relevante debido a la precisión técnica requerida en el montaje de estructuras metálicas, cimentaciones y módulos fotovoltaicos. De acuerdo con el estudio de la Asociación Colombiana de Energía Solar (ACESOL, 2020), las deficiencias en la supervisión técnica y la falta de procedimientos estandarizados son las principales causas de desviaciones en cronogramas y costos durante la fase constructiva de parques solares.

En el contexto internacional, la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2022) resalta que la calidad de la infraestructura civil en plantas solares es un factor determinante para la vida útil del sistema y su desempeño energético. Asimismo, estudios realizados en Chile, México y España muestran que la adopción de programas de gestión de calidad basados en KPI (Key Performance Indicators) permite monitorear en tiempo real el avance y la efectividad de los procesos constructivos, logrando una mejora sustancial en la trazabilidad y control de resultados (PMI, 2017).

En Colombia, algunos proyectos como el Parque Solar El Paso (Cesar) o el Parque La Loma (Cesar) han sido referentes en la implementación de sistemas de calidad apoyados en la norma ISO 9001:2015 y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE, 2013), lo que ha permitido generar modelos de gestión replicables para futuras construcciones. Sin embargo, aún se evidencian falencias en la aplicación uniforme de procedimientos, especialmente en lo relacionado con la gestión documental y el control de ensayos de laboratorio.

Estos antecedentes evidencian que, aunque existe un marco normativo robusto y experiencias significativas tanto en el país como en el extranjero, la aplicación práctica de la gestión de calidad en obras civiles de proyectos solares sigue siendo un desafío. En este sentido, el Proyecto Solar Puerta de Oro representa una oportunidad valiosa para analizar las estrategias implementadas, identificar brechas y proponer lineamientos que fortalezcan el control técnico y documental en futuros desarrollos del sector energético colombiano.

4.2. MARCO TEÓRICO

La gestión de calidad en la ingeniería civil se fundamenta en el conjunto de principios, procedimientos y herramientas que garantizan que una obra cumpla con los requisitos técnicos, normativos y contractuales establecidos. Según Juran (1992), la calidad se define como “la adecuación al uso”, destacando que su control no solo depende de la inspección final, sino de la planificación y la mejora continua durante todas las fases del proceso constructivo.

Por su parte, Deming (1986) plantea que la calidad es el resultado de un sistema correctamente administrado, donde el control debe aplicarse sobre los procesos y no únicamente sobre los productos finales. En esta misma línea, Crosby (1979) introduce el principio de “cero defectos”, indicando que la calidad no es un acto ocasional, sino un hábito que debe integrarse en la cultura organizacional de la empresa.

Estos postulados son aplicables a los proyectos de construcción, donde la variabilidad en materiales, procedimientos y mano de obra exige implementar sistemas de gestión que aseguren la repetibilidad y confiabilidad de los resultados. En este sentido, la norma ISO 9001:2015 establece los lineamientos internacionales para la implementación de sistemas de gestión de calidad basados en la mejora continua, el enfoque al cliente y la gestión por procesos.

Asimismo, el Project Management Institute (PMI, 2021), en su Guía del PMBOK – Séptima Edición, enfatiza que la gestión de la calidad dentro de los proyectos debe centrarse en la entrega de valor, el control de riesgos y la integración entre las áreas de conocimiento. Bajo este enfoque, el control de calidad en obras civiles no solo debe verificar la conformidad técnica, sino también optimizar los recursos y la sostenibilidad del proyecto.

La aplicación de estos principios en el Proyecto Solar Puerta de Oro permite estructurar un modelo de control que combine el cumplimiento normativo con la eficiencia técnica, priorizando la planificación, la verificación de procesos y la participación activa del personal técnico. De esta manera, la gestión de calidad se convierte en un elemento estratégico que influye directamente en la productividad, la durabilidad de la infraestructura y la satisfacción del cliente final.

4.3. MARCO CONCEPTUAL

El concepto de gestión de calidad se refiere al conjunto de actividades coordinadas que permiten dirigir y controlar una organización respecto a la calidad (ICONTEC, 2020). En el ámbito de la ingeniería civil, implica la planificación, ejecución y verificación de los procesos

constructivos para asegurar el cumplimiento de especificaciones técnicas, normativas y contractuales.

Según Juran (1992), la calidad se define como “la adecuación al uso”, lo cual significa que un producto o servicio debe satisfacer plenamente las necesidades para las cuales fue diseñado. Deming (1986) agrega que la calidad depende directamente del control de los procesos, mientras que Crosby (1979) sostiene que debe asumirse como una responsabilidad colectiva basada en el principio de “cero defectos”.

Por su parte, la ISO 9001:2015 introduce un enfoque por procesos, promoviendo la mejora continua y la toma de decisiones basadas en evidencia. En este contexto, los indicadores clave de desempeño (KPI) se convierten en herramientas fundamentales para medir la eficacia del sistema de calidad y tomar acciones correctivas o preventivas en tiempo real.

La Guía del PMBOK (PMI, 2021) complementa este enfoque al definir la gestión de calidad como un conjunto de prácticas que abarca la planificación, el aseguramiento y el control de la calidad. Estas etapas se relacionan directamente con el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar), ampliamente utilizado en proyectos de construcción para garantizar el cumplimiento de los requisitos del cliente y la optimización de los recursos.

De manera general, los conceptos de trazabilidad, mejora continua, auditoría, no conformidad y acción correctiva conforman el marco conceptual que sustenta esta investigación. Su aplicación en el Proyecto Solar Puerta de Oro busca establecer un modelo replicable que integre la calidad desde el diseño hasta la ejecución de las obras civiles.

4.4. MARCO LEGAL

El marco legal que regula las actividades del sector de la construcción y la gestión de calidad en Colombia se compone de diversas normas nacionales e internacionales que garantizan la seguridad, sostenibilidad y cumplimiento técnico de las obras civiles.

Entre las más relevantes se encuentran:

Ley 400 de 1997, por la cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes en el territorio nacional. Esta ley establece las bases para el desarrollo del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), que constituye la referencia principal en materia de diseño, materiales y control estructural.

Decreto 1077 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Este decreto consolida las disposiciones sobre licencias urbanísticas, supervisión técnica y responsabilidad profesional en obras de ingeniería civil.

Resolución 90708 de 2013, actualizada en 2020, mediante la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), aplicable en todos los proyectos que integren sistemas eléctricos y de conexión, como los parques solares. Esta norma exige que todos los materiales, equipos y procesos cumplan con condiciones de seguridad y calidad verificables.

Ley 1715 de 2014, que promueve el uso de energías renovables no convencionales y establece incentivos para proyectos de generación solar, eólica y biomasa. Esta ley busca la

diversificación energética del país y el cumplimiento de los compromisos ambientales internacionales.

Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 9001:2015, adoptada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 2020), que define los requisitos para los sistemas de gestión de calidad aplicables a organizaciones del sector público y privado.

Guía del PMBOK (7.^a edición, 2021), emitida por el Project Management Institute, que orienta la aplicación de buenas prácticas de gestión de proyectos y control de calidad en todas las etapas de desarrollo de una obra.

4.5. MARCO GEOGRÁFICO

El Proyecto Solar Puerta de Oro se localiza en la región del Alto Magdalena, dentro del departamento de Cundinamarca, Colombia. A nivel nacional, el territorio se caracteriza por su diversidad climática y topográfica, factores que influyen directamente en la planificación y ejecución de obras civiles relacionadas con infraestructura energética.

El departamento de Cundinamarca se encuentra en el centro del país y limita con Tolima, Boyacá y Meta. Su ubicación estratégica lo convierte en un punto clave para el desarrollo de proyectos de energías renovables, debido a su conectividad vial, disponibilidad de terrenos y condiciones climáticas favorables para la radiación solar.

De manera específica, el proyecto se desarrolla entre los municipios de Guaduas y Chaguaní, donde se ejecutan las principales actividades de obra civil asociadas a cimentaciones, canales, vías internas y estructuras de soporte. El área total abarca aproximadamente 400 hectáreas, destinadas a la instalación de módulos fotovoltaicos y equipos eléctricos de conexión.



Figura 1. Ubicación geográfica del Departamento Cundinamarca
Fuente: Elaboración propia con base en Google (2025)

Municipios de Cundinamarca

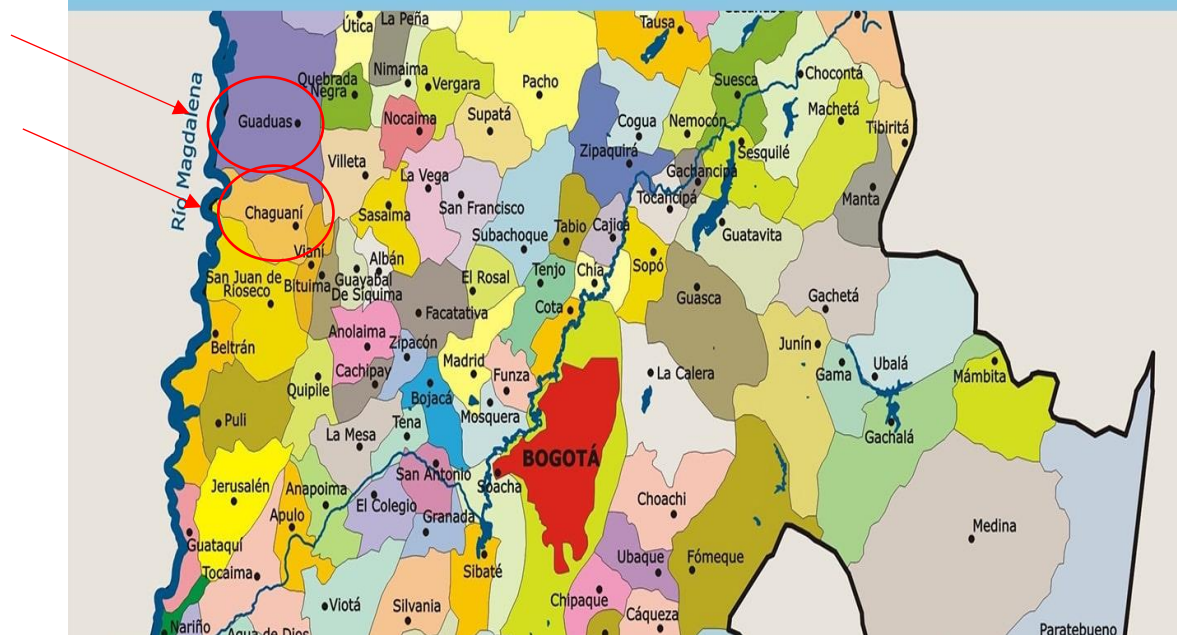


Figura 2. Ubicación geográfica de los municipios de Guaduas y Chaguaní del departamento de Cundinamarca

Fuente: Elaboración propia con base en Google (2025)



Figura 2. Ubicación geográfica del Proyecto Solar Puerta de Oro

Fuente: Elaboración propia con base en Google E (2025)

4.6. MARCO DEMOGRÁFICO.

El Proyecto Solar Puerta de Oro tiene un impacto directo e indirecto sobre la población de los municipios de Guaduas y Chaguaní, estimada en alrededor de 40.000 habitantes (según proyecciones del DANE, 2023).

En términos de población beneficiada, el proyecto genera oportunidades de empleo directo e indirecto, priorizando la vinculación de mano de obra local en actividades de obra civil, topografía, control de calidad y mantenimiento. Además, promueve el desarrollo económico regional a través de la contratación de bienes y servicios locales y contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ mediante la generación de energía limpia.

La población afectada temporalmente corresponde a los habitantes cercanos a las zonas de intervención, quienes pueden experimentar impactos menores como aumento de tráfico vehicular o ruido durante la fase constructiva. Sin embargo, estos efectos son controlados mediante medidas de manejo ambiental establecidas en los planes de gestión del proyecto.

Demográficamente, la población del área de influencia está compuesta principalmente por grupos etarios entre los 25 y 55 años, con predominio de población económicamente activa. Este rango representa la fuerza laboral potencial beneficiada con empleos directos y capacitación técnica en actividades relacionadas con la construcción y operación del parque solar.

5. DELIMITACIÓN

Delimitar un tema de estudio significa enfocar en términos concretos el área de interés, especificar sus alcances y determinar sus límites. En otras palabras, consiste en llevar el problema de investigación de una situación amplia y compleja a una realidad concreta, manejable y coherente con los objetivos propuestos. Desde la óptica de Sabino (1986), la delimitación debe efectuarse en cuanto al tiempo y el espacio, con el fin de situar el problema en un contexto definido y homogéneo. De manera similar, el Instituto Paccelly (2025) plantea que delimitar una investigación implica establecer su alcance y decidir las fronteras espaciales, temporales y temáticas que orientarán el estudio, favoreciendo que el investigador no pierda el enfoque y pueda trabajar sobre una situación específica y concreta.

En este sentido, el presente trabajo se enmarca dentro de los siguientes límites:

-Delimitación espacial

La investigación se desarrolla en el Proyecto Solar Puerta de Oro, localizado en el departamento de Cundinamarca, entre los municipios de Guaduas y Chaguaní, en la región del Alto Magdalena. El área total del proyecto comprende aproximadamente 400 hectáreas destinadas a la instalación de módulos fotovoltaicos, estructuras de soporte, cimentaciones, vías internas y plataformas de montaje.

El estudio se centra específicamente en las actividades de obra civil, excluyendo las fases eléctricas, de montaje de paneles y de operación, con el propósito de analizar de manera detallada la gestión de calidad aplicada en los procesos constructivos.

-Delimitación temporal

El período de análisis corresponde a los años 2023 a 2025, etapa en la cual el proyecto se encuentra en ejecución y se desarrollan las principales actividades constructivas de infraestructura civil. Esta delimitación temporal coincide con la fase donde se evidencian los mayores retos en control de calidad, trazabilidad documental y supervisión de procesos.

El trabajo se apoya en observaciones directas realizadas durante la práctica profesional, así como en registros y documentos generados dentro de este mismo periodo.

-Delimitación temática

El tema se limita a la gestión de calidad en la obra civil del Proyecto Solar Puerta de Oro, abordando los procesos de control de materiales, documentación técnica, ensayos de laboratorio, hallazgos, no conformidades y acciones correctivas.

La investigación no contempla el análisis financiero ni el diseño eléctrico del parque solar, ya que estos aspectos se escapan del objetivo principal del estudio.

El enfoque se orienta a proponer lineamientos que fortalezcan los procedimientos de control y mejora continua, tomando como base las normas ISO 9001:2015, NSR-10 y RETIE.

-Delimitación conceptual

El estudio adopta conceptos clave como gestión de calidad, trazabilidad, indicadores KPI, hallazgos, no conformidades y mejora continua, los cuales delimitan el campo conceptual del análisis y sirven de base teórica para la propuesta de fortalecimiento del sistema de gestión implementado en el proyecto.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico define el conjunto de procedimientos, técnicas e instrumentos utilizados para desarrollar la investigación y alcanzar los objetivos propuestos. Permite establecer la ruta lógica que guía el estudio, desde la recolección de información hasta el análisis y formulación de propuestas.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), la metodología de una investigación debe garantizar coherencia entre el problema planteado, los objetivos formulados y las estrategias de análisis, asegurando la validez de los resultados y la posibilidad de replicarlos en contextos similares.

Tipo de investigación

El presente trabajo se clasifica como una investigación aplicada y descriptiva.

Es aplicada, porque busca ofrecer soluciones prácticas a una problemática real observada en la gestión de calidad de la obra civil del Proyecto Solar Puerta de Oro, mediante la formulación de lineamientos que puedan ser implementados en el sistema de gestión del proyecto.

Es descriptiva, porque analiza y caracteriza los procedimientos existentes de control de calidad, los indicadores de desempeño (KPI), las no conformidades y la trazabilidad documental, con el propósito de identificar fortalezas y debilidades del sistema actual.

Enfoque de la investigación

El enfoque adoptado es cualitativo con apoyo documental y técnico.

Este enfoque permite interpretar la información obtenida a partir de la observación directa, revisión de procedimientos, entrevistas al personal técnico y análisis de registros de calidad.

A diferencia de un enfoque cuantitativo, que busca medir variables numéricas, el enfoque cualitativo se centra en comprender los procesos, relaciones y prácticas dentro del contexto real de la obra, lo que resulta más adecuado para analizar un sistema de gestión.

Población y muestra

La población del estudio está constituida por las actividades de obra civil desarrolladas en el Proyecto Solar Puerta de Oro, específicamente aquellas relacionadas con cimentaciones, estructuras metálicas, vías internas y plataformas de montaje.

La muestra se delimita a los procesos de gestión de calidad asociados a estas actividades, tales como control de materiales, ejecución de ensayos de laboratorio, revisión documental y seguimiento de hallazgos.

La selección se realiza por muestreo intencional, considerando las áreas donde se evidenciaron mayores incidencias de no conformidades y oportunidades de mejora durante la práctica profesional.

Técnicas e instrumentos de recolección de información

Para alcanzar los objetivos de la investigación, se emplearon las siguientes técnicas:

Revisión documental: análisis de manuales de calidad, procedimientos técnicos, informes de laboratorio, registros de inspección, actas de reunión y reportes de hallazgos del Proyecto Puerta de Oro.

Entrevistas semiestructuradas: aplicadas al personal del área de calidad, supervisores de obra e interventores, con el fin de obtener información cualitativa sobre la aplicación de los procedimientos y la eficacia del control de calidad.

Observación directa: realizada durante el desarrollo de actividades de campo, con énfasis en la ejecución de ensayos de compactación, vaciado de concreto y montaje de estructuras metálicas.

Análisis de indicadores KPI: evaluación de los resultados obtenidos en los indicadores de ensayos aprobados, hallazgos, cierre de no conformidades y cumplimiento documental, para determinar tendencias y niveles de desempeño del sistema de gestión.

Fuentes de información

Se utilizaron fuentes primarias y secundarias.

Las fuentes primarias incluyen entrevistas, observaciones y registros internos del área de calidad del Proyecto Solar Puerta de Oro.

Las fuentes secundarias comprenden bibliografía técnica, normas nacionales e internacionales (NSR-10, RETIE, ISO 9001:2015), la Guía del PMBOK (2017), leyes, decretos y literatura académica sobre gestión de calidad en obras civiles y proyectos solares.

Procesamiento y análisis de la información

La información recolectada se organizó y clasificó según las categorías principales del estudio: control de materiales, documentación, no conformidades, hallazgos y acciones correctivas.

Posteriormente, se realizó un análisis comparativo entre los procedimientos observados y los lineamientos establecidos en las normas técnicas vigentes, con el fin de identificar brechas y oportunidades de mejora.

Los resultados obtenidos se representaron mediante tablas de indicadores KPI y se interpretaron cualitativamente para proponer estrategias de fortalecimiento en la gestión de calidad.

Recursos empleados

Recurso humano: autor de la investigación, docente asesor, personal del área de calidad, laboratoristas e interventoría del Proyecto Puerta de Oro.

Recurso material: documentación técnica del proyecto, manuales de calidad, informes de ensayo, equipos de laboratorio y software de gestión documental.

Recurso técnico y tecnológico: herramientas informáticas (Microsoft Excel, Word, plataformas de gestión documental) para la sistematización y análisis de datos.

Recurso normativo: normas técnicas, leyes y reglamentos vigentes aplicables a la gestión de calidad en la construcción.

7. RECURSOS

7.1. HUMANO

- Autor del trabajo: encargado de la recopilación, análisis y sistematización de la información.
- Docente asesor: orienta el proceso investigativo y asegura el cumplimiento académico y metodológico.
- Personal del área de calidad del Proyecto Puerta de Oro: fuente primaria de información mediante entrevistas y acceso a registros.
- Laboratoristas de obra: responsables de la ejecución de ensayos de materiales (compactación, resistencia de concreto, soldaduras).
- Interventoría y supervisores de calidad: encargados del control y validación de procesos constructivos y de documentación.

7.2. MATERIAL

- Documentación técnica del proyecto: procedimientos internos, manuales de calidad, actas, informes de ensayo.
- Laboratorio de obra: equipos para ensayos de compactación, concreto y soldadura.
- Equipos de cómputo y software: herramientas para procesamiento de datos, análisis de KPI y redacción del documento (Excel, Word, plataformas de gestión documental).
- Normativa técnica y bibliográfica: NSR-10, RETIE, ISO 9001:2015, Ley 1715 de 2014, Resolución 472 de 2017, Guía PMBOK.
- Infraestructura física: oficinas del proyecto y áreas de obra para recolección de información y observación directa.

8. DESARROLLO PROPUESTA

En correspondencia con los objetivos específicos planteados, se diseñó una propuesta orientada al fortalecimiento del sistema de gestión de calidad en la obra civil del Proyecto Solar Puerta de Oro. Las acciones se estructuran de manera que respondan a las necesidades identificadas durante el diagnóstico y estén alineadas con los lineamientos de la ISO 9001:2015 y la Guía del PMBOK (2021).

-Evaluar los indicadores clave de desempeño (KPI)

Se elaboró un tablero de indicadores que permite monitorear semanalmente la ejecución de los procesos constructivos. Los KPI seleccionados miden variables como ensayos aprobados, cumplimiento documental, cierres de no conformidades y frecuencia de hallazgos. Este tablero busca facilitar la toma de decisiones basada en datos y evidencias objetivas.

-Identificar y analizar los procedimientos de calidad aplicados

Se revisaron los manuales y procedimientos existentes, evidenciando variaciones entre los diferentes contratistas. Con base en ello, se propuso un Manual Unificado de Calidad para Obra Civil, que integra los formatos y criterios de inspección, recepción de materiales, control de compactación y verificación de cumplimiento normativo.

-Comparar las prácticas actuales frente a normas nacionales e internacionales

Se implementó un plan de auditorías internas trimestrales, que permite verificar el cumplimiento de los procedimientos y de las normas NSR-10, RETIE e ISO 9001:2015. Estas auditorías promueven la autoevaluación y la mejora continua del sistema de calidad.

-Fortalecer el control documental y la trazabilidad

Se desarrolló un esquema de digitalización de la documentación, estructurado por frentes de obra y procesos. Esto mejora el acceso, respaldo y consulta de la información técnica, reduciendo errores por duplicidad y pérdida de datos.

-Proponer recomendaciones para mejorar la gestión de calidad

Se estableció un plan de capacitaciones periódicas dirigido al personal técnico y operativo, enfocado en el uso de normas técnicas, el manejo de formatos de control (checklists, no conformidades) y la importancia del aseguramiento de la calidad.

Los formatos revisados y aplicados durante el estudio incluyen fichas de inspección, registros de ensayos, formatos de hallazgos, reportes de no conformidad y listas de chequeo, los cuales se anexan al documento como evidencia del análisis realizado.

RESULTADOS ESPERADOS

La implementación de las estrategias planteadas en esta propuesta permitirá fortalecer de manera integral el sistema de gestión de calidad de la obra civil del Proyecto Solar Puerta de Oro, contribuyendo a la mejora continua de los procesos constructivos y al cumplimiento de las normas técnicas vigentes.

Se espera que la aplicación del tablero de indicadores KPI facilite la toma de decisiones oportuna, permitiendo identificar desviaciones y tendencias en tiempo real, lo que podría reducir la reincidencia de no conformidades en un 20 % y aumentar el cumplimiento documental en más del 90 %.

La unificación de manuales y procedimientos contribuirá a la estandarización de los criterios técnicos en todas las áreas de obra, garantizando la coherencia entre las actividades ejecutadas por diferentes contratistas y supervisores. Esto generará una mejora significativa en la trazabilidad y en la eficiencia del control de calidad, reduciendo errores por interpretación o falta de uniformidad en los procedimientos.

Las auditorías internas trimestrales fortalecerán la cultura de autoevaluación y control, asegurando que las acciones correctivas se apliquen de manera efectiva y sostenida. Con ello, se espera incrementar la efectividad del sistema de gestión de calidad y disminuir los tiempos de cierre de hallazgos en más de un 15 %.

La digitalización de la documentación técnica permitirá optimizar el acceso, almacenamiento y verificación de los registros de obra, garantizando un flujo de información más rápido y confiable. Esta medida reducirá el riesgo de pérdida de datos y mejorará la trazabilidad de los procesos, facilitando la validación por parte de la interventoría y la empresa contratante.

Finalmente, el programa de capacitaciones periódicas generará un impacto directo en el desempeño del personal técnico y operativo, fortaleciendo sus competencias en control de calidad, interpretación de normas y aplicación de procedimientos. Esto fomentará una cultura organizacional comprometida con la calidad, la seguridad y la sostenibilidad del proyecto.

En conjunto, los resultados esperados de la propuesta contribuirán al cumplimiento de los objetivos generales y específicos del estudio, optimizando la eficiencia del sistema de gestión de calidad, asegurando la conformidad técnica de la obra civil y sentando las bases para replicar este modelo en futuros proyectos de energía solar en Colombia.

9. CONCLUSIONES

La gestión de calidad en obras civiles, especialmente en proyectos de gran escala como el Proyecto Solar Puerta de Oro, constituye un componente esencial para garantizar la durabilidad, seguridad y eficiencia de las estructuras. A través del análisis desarrollado, se comprobó que una adecuada planificación, control y seguimiento de los procesos permite reducir errores, optimizar recursos y fortalecer el cumplimiento de los estándares técnicos exigidos por la normativa vigente.

El diagnóstico realizado evidenció que, si bien el proyecto cuenta con un sistema de gestión de calidad estructurado, existen aspectos que pueden optimizarse, principalmente en lo relacionado con la trazabilidad documental, la uniformidad de los procedimientos y la frecuencia de los controles internos. Estas debilidades representan oportunidades de mejora que, si se abordan correctamente, pueden elevar significativamente el nivel de desempeño del sistema de calidad.

La propuesta formulada —basada en el uso de indicadores KPI, la unificación de procedimientos, la digitalización de registros, las auditorías internas y la capacitación continua— responde directamente a las necesidades detectadas en la obra civil del Proyecto Puerta de Oro. Su aplicación contribuiría a consolidar un modelo de gestión más ágil, trazable y eficiente, en concordancia con los principios de la ISO 9001:2015 y las exigencias de la NSR-10.

Los resultados esperados derivados de la propuesta reflejan que, mediante una correcta implementación, es posible reducir la reincidencia de no conformidades, mejorar los tiempos de respuesta ante hallazgos y elevar el nivel de cumplimiento documental a más del 90 %. Esto demuestra que la gestión de calidad no solo debe entenderse como un requisito normativo, sino como una herramienta estratégica que impacta directamente en la productividad y sostenibilidad de los proyectos.

Durante el desarrollo de la investigación se comprobó la importancia de la participación activa del personal técnico y operativo en la aplicación del sistema de calidad. La cultura de la calidad no se impone; se construye mediante la capacitación constante, la comunicación efectiva y el sentido de compromiso con el proyecto. Este enfoque humano es determinante para lograr resultados sostenibles a largo plazo.

Finalmente, se concluye que el fortalecimiento del sistema de gestión de calidad en la obra civil del Proyecto Solar Puerta de Oro no solo mejora los procesos internos del proyecto, sino que también genera un impacto positivo en el entorno social y profesional, sirviendo como referencia para la ejecución de futuros proyectos de energía solar en Colombia. De esta manera, la investigación cumple con su propósito de aportar conocimiento y herramientas aplicables a la ingeniería civil moderna, desde una perspectiva técnica, ambiental y sostenible.

10.RECOMENDACIONES

- Implementar formalmente el tablero de indicadores KPI como herramienta principal de seguimiento y control del sistema de gestión de calidad. Este instrumento permitirá visualizar de manera periódica el desempeño de los procesos constructivos, facilitando la toma de decisiones informadas y oportunas.
- Unificar los manuales y procedimientos técnicos de la obra civil bajo un mismo formato institucional. De esta forma se garantiza la homogeneidad en los controles, se reduce la interpretación ambigua de criterios y se fortalecen los procesos de inspección, recepción y registro de actividades.
- Efectuar auditorías internas de calidad cada trimestre, con el fin de verificar la eficacia de los procedimientos aplicados, el cumplimiento de la normatividad técnica (NSR-10, RETIE e ISO 9001:2015) y la correcta implementación de las acciones correctivas.
- Fortalecer la trazabilidad documental mediante la digitalización y el uso de plataformas de gestión en línea, que permitan centralizar la información técnica y garantizar su disponibilidad, respaldo y actualización permanente.
- Desarrollar programas de capacitación continua dirigidos al personal operativo, supervisores y contratistas, enfocados en los procedimientos de control de calidad, seguridad industrial y aplicación de normativas. Estas capacitaciones deben mantenerse activas durante todo el ciclo del proyecto, fomentando una cultura organizacional orientada a la mejora continua.
- Extender la aplicación del modelo de gestión de calidad propuesto a futuros proyectos de energía solar y obras civiles similares, adaptando los lineamientos aquí planteados a diferentes contextos geográficos y técnicos. Esto permitiría consolidar un estándar de referencia para proyectos de infraestructura sostenible en Colombia.
- Finalmente, se recomienda que la dirección del proyecto mantenga un seguimiento constante a los resultados de la propuesta, estableciendo mecanismos de retroalimentación que aseguren su sostenibilidad en el tiempo y permitan evaluar su impacto real en la eficiencia, productividad y calidad de las obras.

REFERENCIAS

ACOSOL. (s. f.). *Quiénes somos / documentos técnicos y noticias sobre la industria solar en Colombia*. <https://acosol.org/>

Congreso de la República de Colombia. (1997, 19 de agosto). *Ley 400 de 1997 — Por la cual se adoptan normas sobre construcciones sismo-resistentes en el territorio nacional*. Diario Oficial No. 43.112.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=3360>

Congreso de la República de Colombia. (2014, 13 de mayo). *Ley 1715 de 2014 — Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional*. Diario Oficial No. 49.150.
https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/pdf/ley_1715_2014.pdf

Crosby, P. B. (1979). *Quality Is Free: The Art of Making Quality Certain*. McGraw-Hill.

Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. MIT Press.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (s. f.). *Estadísticas de población y demografía — datos municipales (Guaduas, Chaguaní, proyecciones)*.
<https://www.dane.gov.co/index.php/en/statistics-by-topic-1/population-and-demography>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.

ICONTEC. (2020). *NTC-ISO 9001:2015 — Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

International Energy Agency (IEA). (2023/2024). *Renewables 2023 / Solar PV overview*. <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>

International Energy Agency — Photovoltaic Power Systems Programme (IEA-PVPS). (2023). *Trends in Photovoltaic Applications 2023*. https://iea-pvps.org/trends_reports/trends-2023/

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9001:2015 — Quality management systems — Requirements*. ISO. <https://www.iso.org/standard/62085.html>

Juran, J. M. (1992). *Juran on Quality by Design: The New Steps for Planning Quality into Goods and Services*. Free Press.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017, 28 de febrero). *Resolución 472 de 2017 — Gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD)*. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-0472-de-2017/>

Ministerio de Minas y Energía. (2013; actualizado 2020). *Resolución 90708 de 2013 — Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)*. <https://www.minenergia.gov.co>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Decreto 926 de 2010 — Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-Resistente (NSR-10)*. Diario Oficial No. 47.663. https://cancilleria.gov.co/normograma/compilacion/docs/decreto_0926_2010.htm

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Decreto 1077 de 2015 — Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/1077%20-%202015.pdf>

Project Management Institute (PMI). (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) — Seventh Edition*. Project Management Institute. <https://www.pmi.org/standards/pmbok>

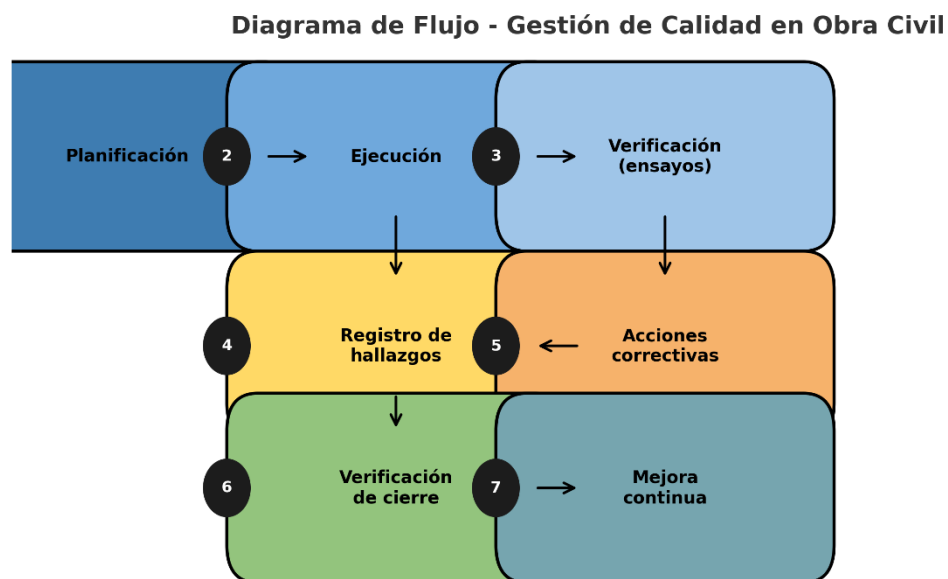
Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2021). *Informe y registro de proyectos de generación: panorama de proyectos solares en Colombia*. <https://www1.upme.gov.co>

ANEXOS

Anexo A. Indicadores KPI de calidad en obra civil

Indicador	Fórmula	Meta	Observaciones
Ensayos aprobados	$(\text{Ensayos aprobados} / \text{realizados}) \times 100$	≥ 95 %	Compactación, concreto, soldaduras
Cierre de NC	$(\text{NC cerradas} / \text{NC totales}) \times 100$	≥ 85 %	Control de acciones correctivas
Hallazgos	Número por mes	≤ 5	Frecuencia de desviaciones
Cumplimiento documental	$(\text{Docs aprobados} / \text{revisados}) \times 100$	≥ 90 %	Informes, actas, registros

Anexo B. Diagrama de flujo de gestión de calidad



Anexo C. Tabla comparativa de normas aplicadas

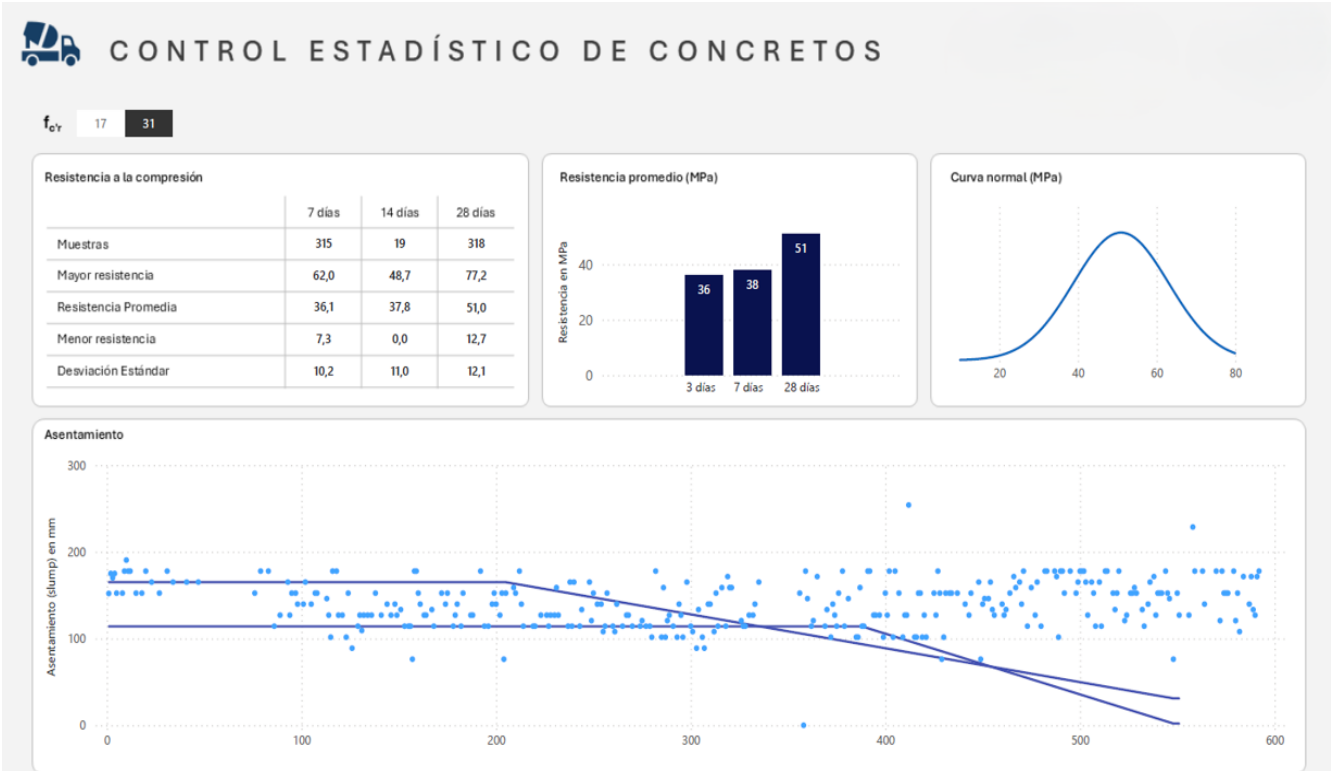
Norma	Enfoque	Aplicación en el proyecto
NSR-10	Seguridad estructural	Cimentaciones, estructuras
RETIE	Seguridad eléctrica	Montaje eléctrico
ISO 9001	Gestión de calidad	Procesos y mejora continua
Ley 1715	Energías renovables	Marco legal del proyecto
Norma	Enfoque	Aplicación en el proyecto

Anexo D. Cronograma simplificado de control de calidad

Actividad	Responsable	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Ensayos de compactación	Laboratorio	X		X	
Revisión de soldaduras	Interventoría		X		X
Control documental	Área de calidad	X	X	X	X
Informe de hallazgos	Área de calidad		X		

		Procedimiento de acciones correctivas y preventivas					
		Análisis de causas y control de AC/AP					
Origen del reporte							
☐ Queja de Cliente		☐ Auditoría		☐ Otros			
Área / Proyecto		Referencia:					
		Reporte:					
		Fecha:					
Auditoría:		Responsable del área:		Nombre de quien reporta			
☐ HSE ☐ Q							
Tipo de reporte		☒ No conformidad		☐ Mayor ☐ Menor			
				☒ Observación			
Descripción del Hallazgo							
Página 1							
Norma o Procedimiento:		Clausula o numeral:		Firma de aceptación			
Acción Corrección							
Análisis de causas (no conformidad)							
Pregunta			Respuesta				
¿Por qué...			Porque...				
Conclusión:			Plan de acción propuesto				
			Actividad		Fecha	Responsable	
			Riesgo de la actividad	Bajo	Medio	Alto	Inaceptable
			Riesgo de la actividad	Bajo	Medio	Inaceptable	
			Riesgo de la actividad	Bajo	Medio	Inaceptable	
			Riesgo de la actividad	Bajo	Medio	Inaceptable	
Plan de acción aceptado:							
¿El plan de acción propuesto, genera un nuevo riesgos, peligro ó impacto ambiental?							
SI		NO		X			
Evento/ Cuáles	Riesgo (9001)	Peligro (45001)	Impacto (14001)				
Comentarios sobre seguimiento - Eficacia de las acciones							
Fecha de Seguimiento	Fecha de Cierre	Firma de Auditor o Representante de HSEQ					

Anexo F. Indicador KPI Control estadístico de concretos



Anexo G. Indicador KPI Índice de rechazos en ensayos

