

Análisis de factores de riesgo e indicadores relevantes para optimizar la ejecución de proyectos de subestaciones eléctricas

Analysis of Risk Factors and Relevant Indicators to Optimize the Execution of Electric Substation Projects

Santiago Andrés Osorio-Huertas

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

saosorioh@udistrital.edu.co

 <https://orcid.org/0009-0001-7466-8455>

Óscar Danilo Montoya-Giraldo

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

odmontoyag@udistrital.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0001-6051-4925>

Recepción: 19 Abril 2024

Aprobación: 13 Agosto 2024

Publicación: 01 Octubre 2024



Acceso abierto diamante

Resumen

La gestión de proyectos de ingeniería desempeña un papel crucial en el sector eléctrico, siendo esencial para la modernización y expansión de la infraestructura energética. Este artículo aborda la necesidad de caracterizar los factores de riesgo que inciden en la gestión y ejecución de proyectos de subestaciones eléctricas, en el contexto nacional e internacional. Esta investigación tuvo como objetivo identificar factores de riesgo e identificar indicadores medibles que permiten mitigar los problemas inherentes a proyectos de subestaciones eléctricas. La metodología empleada consistió en la identificación de factores de riesgo mediante la herramienta de juicio de expertos, seguida de la selección de indicadores para controlar y monitorear dichos riesgos en las etapas de diseño y ensamble. Además, se evaluaron herramientas útiles para la gestión de proyectos, destacando Trello y el Dashboard de seguimiento. La investigación destacó la implementación de estas herramientas mediante un proyecto piloto demostrando mejoras significativas en la organización, supervisión y tiempos de ejecución. Sin embargo, se identificaron áreas de mejora, factores de riesgo no contemplados y falencias en la capacitación del personal. Los resultados obtenidos resaltaron la importancia de la experiencia y la capacitación del equipo en este tipo de proyectos, además, de la necesidad de implementar herramientas de gestión de proyectos que permitan realizar un monitoreo de los tiempos de entrega de manera precisa. Estos resultados respaldan la inclusión de metodologías ágiles en proyectos con alcances definidos, lo que contribuye a optimizar los procesos y mitigar los riesgos asociados. Finalmente, se concluye que hay factores de riesgo que pueden ser mitigados al incluir aspectos de metodologías ágiles e indicadores específicos, como el tiempo de ejecución, cantidad de revisiones, y tiempo de ensamble, como los más notables dentro de proyectos con alcances ya definidos, especialmente en etapas como la de diseño y ensamble.

Palabras clave: Subestaciones eléctricas, gestión de proyectos, riesgos en proyectos, indicadores de gestión, juicio de expertos.

Abstract

Notas de autor

odmontoyag@udistrital.edu.co

Engineering project management plays a crucial role in the electricity sector, being essential for the modernization and expansion of the energy infrastructure. This article addresses the need to characterize the risk factors that affect the management and execution of electrical substation projects in the national and international context. The objective of this research was to identify risk factors and measurable indicators to mitigate the problems inherent in electrical substation projects. The methodology employed consisted of the identification of risk factors through the expert judgment tool, followed by the selection of indicators to control and monitor these risks in the design and assembly stages. In addition, useful tools for project management were evaluated, highlighting Trello and the Tracking Dashboard. The research highlighted the implementation of these tools through a pilot project that demonstrated significant improvements in organization, supervision, and execution times. However, areas for improvement, unconsidered risk factors, and shortcomings in staff training were identified. The results obtained highlighted the importance of the team's experience and training in this type of projects, as well as the need to implement project management tools that allow monitoring delivery times accurately. These results support the inclusion of agile methodologies in projects with defined scopes. Finally, it is concluded that there are risk factors that can be mitigated by including aspects of agile methodologies and specific indicators, such as execution time, number of revisions, and assembly time, as the most notable within projects with defined scopes, especially in stages such as design and assembly.

Keywords: Electric substations, project management, project risks, management indicators, expert judgment.

Highlights

La experiencia de los líderes influye en los resultados finales del proyecto.
 Canales de comunicación poco claros ponen en riesgo el desarrollo del proyecto.
 La incursión de herramientas ágiles en proyectos tradicionales puede aumentar las probabilidades de éxito.
 Identificar indicadores para el control de riesgo impacta en la gestión del proyecto.

Highlights

The experience of the leaders influences the final outcomes of the project.
 Unclear communication channels put the development of the project at risk.
 The introduction of agile tools into traditional projects can increase the chances of success.
 Identifying risk control indicators impacts project management.

1. INTRODUCCIÓN

Un proyecto se define como un esfuerzo temporal dirigido a alcanzar un objetivo específico, este esfuerzo implica la coordinación de recursos y actividades para lograr dicho fin. En este contexto, los proyectos cuentan con una variedad de herramientas que posibilitan la implementación de planes estratégicos que permiten al gerente de proyectos mejorar los procesos involucrados [1], [2]. La gestión de proyectos de ingeniería desempeña un papel vital en el sector eléctrico, siendo esencial para la modernización y expansión de la infraestructura eléctrica a nivel global. Este sector está en constante evolución debido a la creciente demanda de energía, la necesidad de tecnologías más avanzadas y la búsqueda de soluciones sostenibles. Para alcanzar con éxito estos objetivos, se requiere la implementación de metodologías de planificación y ejecución de proyectos a largo plazo que no solo satisfagan las expectativas de rentabilidad y modernización, sino que también garanticen la satisfacción de las necesidades de los usuarios y clientes [3].

El presente artículo aborda la necesidad de caracterizar los factores de riesgo que inciden directamente en la gestión y ejecución de proyectos de ingeniería en el sector eléctrico tanto a nivel nacional (se entiende por nacional, el caso de Colombia) e internacional [4]. A partir de esta caracterización, se busca establecer indicadores reales y medibles que permitan mitigar los problemas inherentes al proyecto, esto desde la premisa de que el uso de indicadores resulta ser un instrumento clave para el éxito de un proyecto [5], [6]. Por tanto, resulta imperativo explorar nuevos enfoques y herramientas innovadoras que aseguren la exitosa ejecución de proyectos de modernización y ampliación de subestaciones eléctricas, en búsqueda de resultados medibles y beneficios tangibles para la infraestructura eléctrica.

En este contexto, se destaca la integración de metodologías ágiles que han sido ampliamente usadas en la industria para solventar dificultades en la gestión, y que en proyectos de ingeniería podrían surgir como una herramienta crucial para el manejo de proyectos del sector eléctrico [7], [8]. Sin embargo, la planificación, gestión y seguimiento de proyectos a largo plazo enfrentan desafíos significativos, especialmente en lo que respecta a la medición del desempeño de los proyectos, que evidencia un desequilibrio entre lo presupuestado y lo ejecutado, este hecho subraya la necesidad apremiante de contar con indicadores basados tanto en predicciones (leading) como en resultados concretos (lagging) [9].

En este sentido, el seguimiento de los proyectos es crucial para poder llevar un control riguroso de su avance, lo que, combinado con un enfoque de gestión de riesgos bien estructurado, promueve una mayor identificación de oportunidades de mejora continua [10], [11]. Este principio busca ser una guía en las decisiones y acciones organizacionales, tratando de evitar el colapso del proyecto, con base en esto es posible determinar si los

resultados obtenidos están acordes a los supuestos para realizar los respectivos ajustes y mejoras en caso de ser necesarios.

Sin embargo, en la gestión de proyectos, los riesgos pueden surgir de diversos aspectos, como cambios en los requisitos del proyecto, problemas de presupuesto, retrasos en la entrega de recursos, fallas de comunicación entre el equipo, conflictos internos o externos, falta de habilidades técnicas y cambios en el entorno externo [4], [12], [13]. Para gestionar estos riesgos, comúnmente se utilizan indicadores de control como el índice de desviación de presupuesto, el índice de satisfacción del cliente, el índice de calidad del proyecto, la tasa de cambio de requisitos, la tasa de cumplimiento de hitos o entregables junto con un índice máximo de riesgo que el proyecto puede asumir, que permiten monitorear y controlar el progreso del proyecto, identificar áreas de mejora y tomar medidas correctivas y preventivas en caso de desviaciones con los resultados esperados [5], [14], [15].

Considerando estos antecedentes, resulta fundamental establecer una serie de indicadores que aborden aspectos clave que permitan medir y evaluar el progreso del proyecto. Estos indicadores deben enfocarse en diversos aspectos, como los tiempos de ejecución del proyecto, la calidad de los entregables de ingeniería, el número de revisiones antes de la versión final, el grado de satisfacción del cliente, entre otros aspectos relevantes [15]. El objetivo, es que estos indicadores no solo permitan identificar áreas de mejora, sino que también guíen la toma de decisiones para alcanzar los objetivos establecidos.

Finalmente, la importancia de una gestión efectiva de riesgos y la propuesta de indicadores, se validaron mediante su aplicación en un proyecto piloto. Esto permitió medir la eficacia de estas medidas y realizar ajustes necesarios antes de su implementación completa en la empresa. Como base del artículo, se debe contemplar que es fundamental la correcta identificación de los factores de riesgo e indicadores para monitorear y evaluar el desempeño del proyecto en tiempo real, buscando detectar desviaciones y riesgos potenciales que podrían afectar los resultados finales, esto con la esperanza de mejorar la gestión y ejecución de proyectos en este sector. Al revisar los indicadores, se demostrará la importancia de tener un control claro sobre las etapas del proyecto y cómo su desempeño se ve afectado por los factores de riesgo, lo cual es un tema vital en la gestión y ejecución de proyectos de ingeniería en el sector eléctrico [16].

El resto de este documento se estructura de la siguiente manera: La sección 2 presenta la metodología propuesta para identificar factores de riesgo e indicadores útiles para la gestión de proyectos de subestaciones eléctricas. En la sección 3, se desarrolla un caso de estudio que valida los resultados obtenidos en la investigación en un entorno real. La sección 4 analiza los resultados obtenidos en el trabajo. Finalmente, la sección 5 ofrece conclusiones destacando los logros alcanzados, las áreas de mejora identificadas y posibles trabajos futuros.

2. METODOLOGÍA

En esta sección, se presenta la metodología diseñada para analizar cada uno de los diversos factores de riesgo que impactan en los proyectos del sector eléctrico, con un enfoque particular en los proyectos de subestaciones eléctricas. Además, se identifican los indicadores que facilitan un control y seguimiento efectivo de estos riesgos. Este artículo surge en respuesta a la dinámica cambiante de una industria en constante evolución, donde la optimización de la productividad en términos de tiempo y recursos es fundamental. En este contexto, la implementación de metodologías ágiles se perfila como una estrategia prometedora, en donde destaca la creciente popularidad de la metodología Scrum, una metodología ágil ampliamente adoptada en diversas empresas que buscan expandir mejorar su rentabilidad mediante el desarrollo ágil de sus proyectos [17], [18].

A continuación, se presenta una serie de etapas secuenciales que orientan el enfoque del artículo con el propósito de detallar el proceso de identificación de los factores de riesgo en proyectos del sector mencionado [4]. Asimismo, se proporcionan pautas para la selección e identificación de diversos tipos de indicadores

óptimos para este tipo de proyectos [5]. Por último, se muestra la manera en la cual se realizó la selección de herramientas de control, las cuales son fundamentales para garantizar el éxito del proyecto.

Es importante destacar que la idea central del artículo es distinguir, entre los diferentes factores de riesgo, cuáles están realmente afectando el desarrollo del proyecto y es viable realizar alguna acción de mejora, para a partir de esto, definir los indicadores que permitirán controlar estos riesgos y evitar desviaciones respecto a la línea base del proyecto. En este sentido, se presenta la Figura 1, que muestra la metodología utilizada en cada una de las etapas, junto con los resultados esperados y las herramientas implementadas para lograrlos al seguir esta serie de pasos.

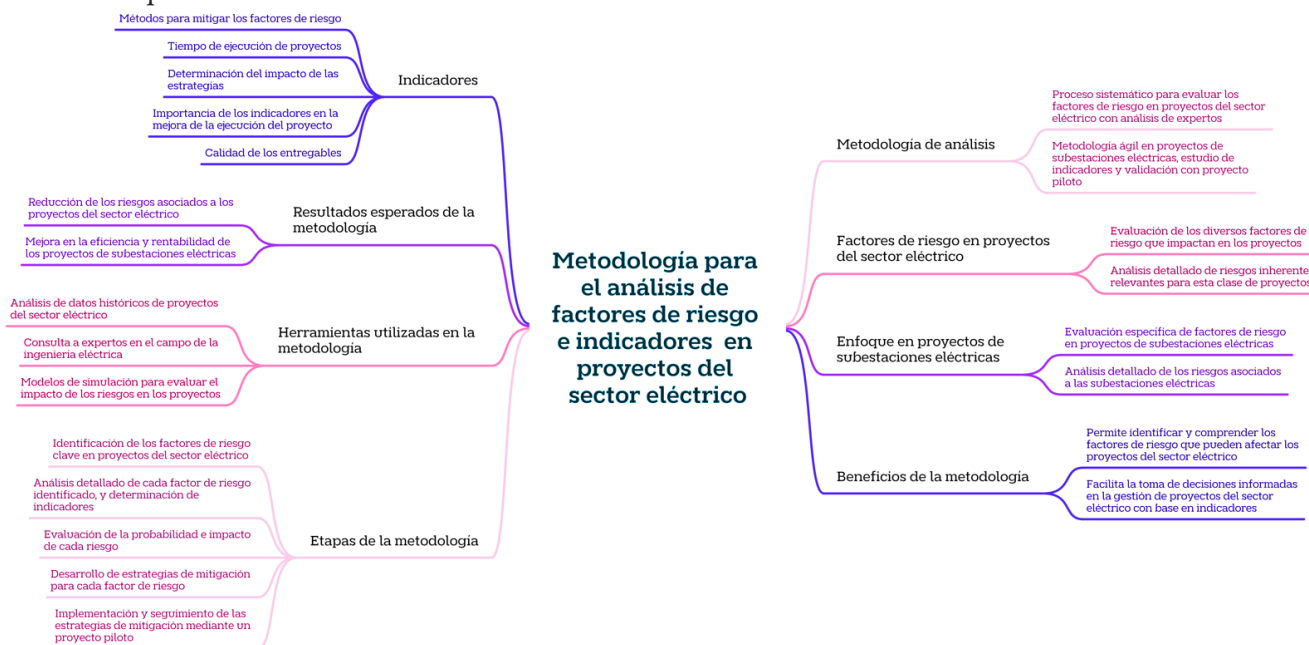


Figura 1 .

Metodología propuesta para el desarrollo de la investigación.

Fuente: elaboración propia.

2.1 Identificación de factores de riesgo que influyen en proyectos de subestaciones eléctricas

En primer lugar, se debe llevar a cabo una adecuada identificación de los factores de riesgo que afectan los proyectos de subestaciones eléctricas. Para este propósito, se recurre a una herramienta de gran utilidad conocida en el ámbito empresarial como juicio de expertos. El juicio de expertos es una herramienta de investigación que proporciona una perspectiva fundamentada y bien informada gracias a la opinión de individuos reconocidos en el campo en cuestión [19], [20]. Estas opiniones son consideradas válidas y pertinentes dentro del contexto del análisis, en este caso, de riesgos en proyectos del sector eléctrico. Esta herramienta no solo permite, sino que también facilita el reconocimiento de las variables críticas que impactan en el desarrollo de este tipo de proyectos [21]. La implementación de esta herramienta se logra mediante la exploración de la experiencia y conocimientos del equipo involucrado en el proceso de identificación de factores de riesgos.

Según el Project Management Institute (PMI), el juicio de expertos es una de las herramientas más comunes en la planificación de la gestión de proyectos [22]. Esta herramienta dentro del proyecto tendrá como objetivo facilitar la identificación de deficiencias o debilidades que puedan haberse manifestado a lo largo del tiempo, tanto dentro de la compañía como en otras organizaciones en la ejecución de este tipo de proyectos, proporcionando así una perspectiva diferente y enriquecedora para abordar el desafío de mejorar la ejecución de estos. Con este propósito en mente, se procede a formular una serie de preguntas, como se observa en la

Tabla 1, que tienen como fin obtener una comprensión más profunda de los factores de riesgo más comunes identificados por estos expertos a lo largo de sus carreras en proyectos relacionados con el diseño y puesta en marcha de subestaciones eléctricas en Colombia.

Tabla 1
Preguntas realizadas a los expertos

No.	Preguntas
1	¿Cuáles considera que son los principales factores de riesgo en proyectos de subestaciones eléctricas?
2	En proyectos similares, ¿Cómo han abordado estos riesgos asociados en proyectos de subestaciones eléctricas?
3	¿Qué variables o condiciones han demostrado ser críticas en el éxito o fracaso de proyectos similares en el pasado?
4	¿Qué herramientas recomendaría para mitigar los riesgos identificados en proyectos de subestaciones eléctricas?
5	¿Cuáles son las áreas críticas que deben ser monitoreadas de cerca para evitar o mitigar riesgos en la ejecución de estos proyectos?
6	¿Qué lecciones han aprendido de proyectos anteriores que podrían ser útiles para mejorar la gestión de riesgos en futuros proyectos de subestaciones eléctricas?

Fuente: elaboración propia.

Las preguntas listadas en la Tabla 1, se fundamentan en la complejidad de la toma de decisiones durante el desarrollo del proyecto, capturando variables clave que permiten identificar el estado actual de la compañía, para a partir de estas, tomar decisiones consensuadas con el fin de resolver el problema [4], [21]. Estas preguntas se utilizan para la evaluación a través del juicio de expertos, quienes deben proporcionar respuestas basadas en su experiencia en proyectos y conocimientos acerca del tema. Por esta razón, es crucial administrarlas a personas reconocidas en el sector para dar validez a los resultados obtenidos [19]. En consecuencia, las preguntas serán realizadas a un total de 7 especialistas del sector, incluyendo ingenieros de proyectos con una vasta experiencia en el desarrollo de este tipo de proyectos, así como a gestores de proyectos que han trabajado en proyectos de la misma índole a lo largo de su carrera profesional.

2.1.1 ¿Cuáles son los riesgos asociados a un proyecto de subestaciones eléctricas?

Una vez obtenidos los resultados de la implementación de la herramienta de juicio de expertos, se torna imprescindible llevar a cabo un análisis de los riesgos identificados. Con estos riesgos identificados, se buscarán alternativas viables destinadas a mitigar estos dentro del proyecto. Para este propósito, se recurrirá a diversas herramientas, las cuales serán seleccionadas en función de la relevancia de cada riesgo y de la necesidad de implementar medidas preventivas. Este enfoque garantizará la correcta gestión de riesgos, minimizando la probabilidad de contratiempos que puedan ocasionar retrasos durante la ejecución del proyecto.

Para lograr la gestión efectiva de los riesgos en proyectos es crucial poder identificar las variables que están incidiendo en los resultados [13]. A partir de esta premisa, y con el análisis realizado a las respuestas proporcionadas por los expertos, se reveló que para gestionar efectivamente los riesgos es fundamental contar con un sistema capaz de registrar los eventos ocurridos durante la ejecución de los proyectos. De esta manera, la información recopilada puede ser utilizada para realizar pronósticos que guíen las decisiones de los gestores durante la ejecución del proyecto, así como para anticipar situaciones que podrían surgir y deben tenerse en cuenta al participar en la licitación del proyecto [19].

Al igual que contar con una base de datos robusta para anticipar los riesgos asociados a un proyecto de esta índole, resulta necesario contar con la participación activa y el compromiso de los líderes del proyecto, los expertos coinciden en que el compromiso de las personas involucradas en el desarrollo del proyecto es uno de los factores críticos de éxito en un marco de trabajo colaborativo. También destacan la comunicación como una variable fundamental para mitigar los riesgos asociados. Uno de los expertos resalta que “la falta de comunicación ha sido responsable de numerosos fallos en proyectos, por lo que es imperativo garantizar un canal de comunicación continuo y asertivo con todas las partes interesadas”. Una comunicación efectiva con los interesados del proyecto es esencial para mantener el enfoque en los objetivos establecidos [23].

Así mismo, para lograr que el proyecto se desarrolle con total tranquilidad, se logre el compromiso y una comunicación asertiva dentro de las partes interesadas dentro del proyecto, resulta como un factor de riesgo el nivel de experticia del gestor del proyecto, que es en pocas palabras la experiencia que esta persona pueda tener ante diferentes sucesos que ocurran durante el desarrollo proyecto. Los autores (PMBOK guide), enfatizan dentro de sus conceptos, que un gestor de proyectos, debe ser una persona que presente algunas competencias claves y un rango de habilidades interpersonales, tales como liderazgo, poseer la habilidad trabajar y construir equipos, que motive y sea capaz de tomar las mejores decisiones en cualquier momento con base a información relevante del entorno que rodea al proyecto, generador de confianza y lidiador de problemas con criterios imparciales y temperamento tal que su toma de decisiones no sea influenciada por egos o cuestiones personales, entre más experiencia y pericia tenga el gestor del proyecto más capacidad de afrontar riesgos tendrá la compañía y menos problemas se presentarán [22], [24]. De acuerdo con las respuestas obtenidas de los expertos, se destaca que el papel del gestor de proyectos debe orientarse más hacia ser el mediador y facilitador, en lugar de ser la persona a cargo.

Además de la evaluación de las respuestas obtenidas mediante el juicio de expertos, surge un problema recurrente en las organizaciones que es la falta de estandarización de procesos. La falta de estandarización de los procesos empresariales, junto con la carencia de madurez en la tecnología empleada para la implementación de ingeniería basada en modelos preestablecidos, puede llevar a la ejecución errónea del proyecto, lo que resulta en su fracaso o en retrasos significativos durante su desarrollo [12].

Todos los factores de riesgo identificados mediante la evaluación por juicio de expertos se presentan en la Tabla 2. Los riesgos identificados serán evaluados según su impacto en la ejecución del proyecto, utilizando la opinión de expertos como criterio principal. Esta evaluación se llevará a cabo mediante una escala que categoriza el impacto en tres niveles: alto, moderado y bajo. Un impacto alto indica que el riesgo afecta significativamente la ejecución del proyecto. En cambio, un impacto moderado señala que el riesgo afecta la ejecución, pero podría ser mitigado con la ayuda de herramientas o estrategias adicionales. Por último, un impacto bajo indica que la influencia del riesgo en el proyecto en cuestión es mínima o no relevante [3], [13].

Tabla 2
Factores de riesgo identificados

No.	Riesgo identificado	Impacto en la ejecución del proyecto
1	Experticia del gestor.	Moderado
2	Carencia de conocimientos especializados	Bajo
3	Falta de estandarización de procesos	Alto
4	Marco definido para la gestión de riesgos	Bajo
5	Base de datos con tiempos de ejecución de proyectos según alcance	Alto
6	Rotación constante de personal entre proyectos	Moderado
7	Perdida de talento humano dentro de la compañía	Alto
8	Carencia de canales de comunicación	Alto
9	Cambios en los requisitos del cliente durante la ejecución del proyecto	Moderado
10	Incumplimientos en tiempos de entrega de materiales por parte de proveedores o contratistas externos	Moderado
11	Conflictos internos dentro del equipo de trabajo	Alto
12	Experiencia del equipo de trabajo	Moderado
13	Entendimiento del alcance del proyecto	Alto
14	Planificación adecuada del cronograma del proyecto.	Moderado
15	Cultura organizacional	Moderado

Fuente: elaboración propia.

El análisis del riesgo debe comenzar respondiendo las preguntas de "¿Cómo se resolvió el problema en el pasado?" y "¿Cuáles fueron las causas y efectos involucrados?". Responder a estas preguntas es fundamental para orientar el monitoreo de actividades de manera efectiva, lo que resulta en una mejora continua que aporta beneficios esperados y justifica los cambios implementados. Este monitoreo no solo evalúa los resultados obtenidos, sino que también optimiza los procesos. Además, mediante este procedimiento se busca también fomentar una cultura organizacional que valore la gestión de riesgos dentro del proyecto. Es esencial que la organización comprenda que cada acción conlleva consecuencias, ya sean positivas o negativas. Por tanto, al promover una cultura organizacional que valore el riesgo, se asegura que las decisiones se tomen con un conocimiento fundamentado con el objetivo de mejorar los procesos en curso.

2.2 Indicadores para control de riesgos en proyectos de subestaciones eléctricas

Una vez identificados los factores de riesgo presentes en un proyecto de esta índole, es necesario hallar métodos para mitigar su impacto durante el desarrollo de este. Teniendo en cuenta este propósito, se plantean diversas estrategias con la finalidad de promover un desarrollo más armonioso del proyecto y lograr así minimizar su incidencia con la aparición de posibles contratiempos. Desde esta premisa surge la interrogante ¿Cómo se puede determinar si estas estrategias implementadas realmente contribuyen a mejorar la ejecución del proyecto?, para abordar esta cuestión, se plantea la utilización de indicadores. En el contexto de esta investigación, un indicador se define como datos cuantitativos derivados de procedimientos establecidos por el investigador. Estos datos generan resultados que pueden ser observados de manera uniforme por todos los implicados. Cabe destacar que los indicadores reflejan hallazgos del investigador y no del objeto de estudio en sí mismo. Por ende, las metodologías y técnicas de medición adquieren una relevancia significativa en este proceso, superando la importancia del conocimiento directo de la realidad [25].

El propósito fundamental de estos indicadores es evaluar y controlar las acciones que van a ser llevadas a cabo durante el desarrollo del proyecto con base en los riesgos identificados tal como se puede observar en la Figura 2. A partir de esta evaluación, se busca tomar decisiones más acertadas en relación con la ejecución de los procesos. El objetivo es identificar aquellas acciones que han generado un impacto positivo en términos de eficiencia en los tiempos de ejecución, optimización de los costos asociados al proyecto y mejora en la calidad del trabajo realizado [26]. Por tanto, se espera que los indicadores seleccionados estén en la capacidad de medir estos resultados de manera precisa a lo largo del proyecto, definiendo los resultados obtenidos de manera clara y sin ambigüedades que puedan dar lugar a interpretaciones diversas que conlleven a una toma de decisiones errónea [5].

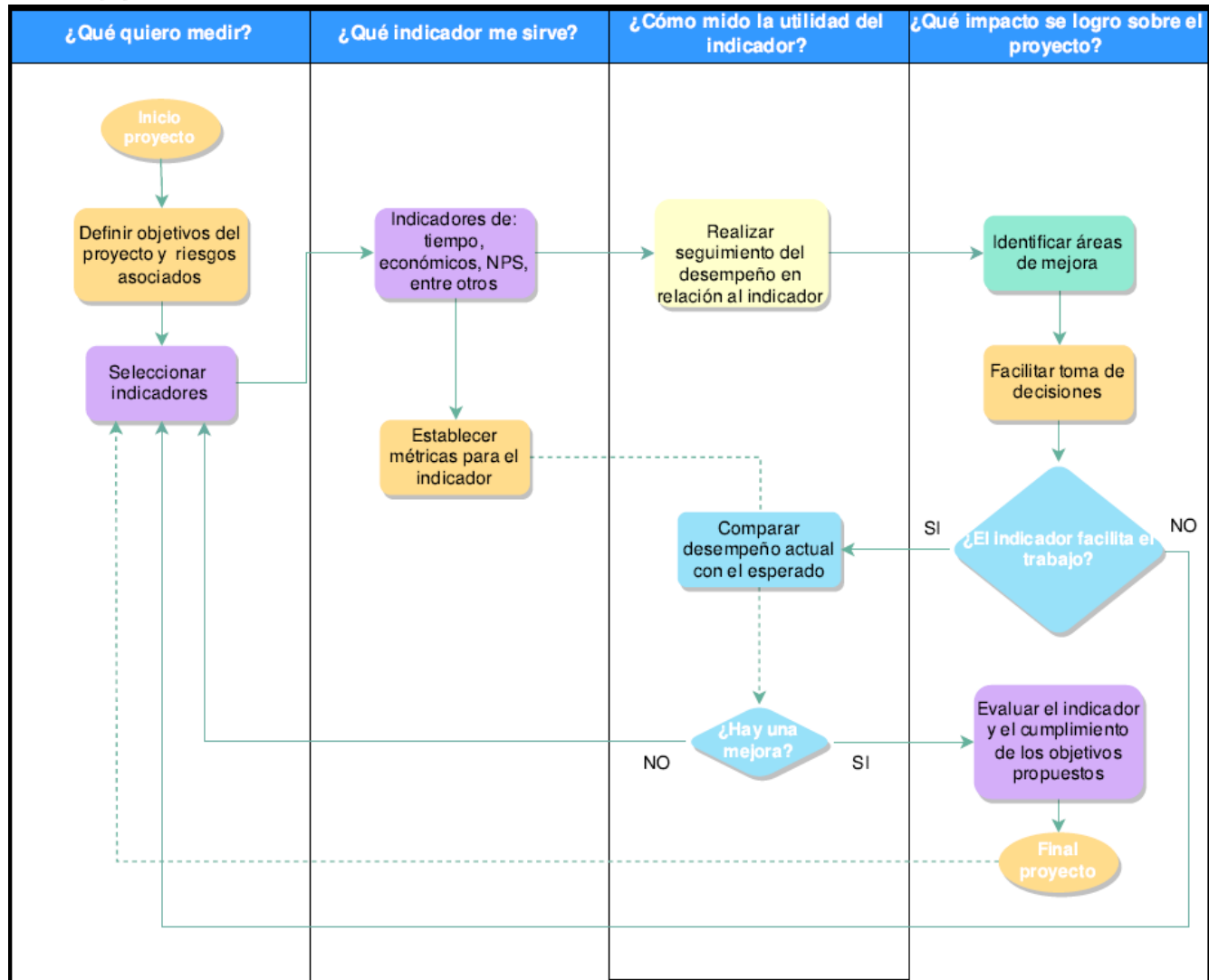


Figura 2 .

Utilidad de los indicadores durante el desarrollo del proyecto.

Fuente: elaboración propia.

Antes de poder realizar la selección de los indicadores, es necesario tener presente el impacto que tiene cada uno de los riesgos identificados dentro del proyecto, esto con la finalidad de poder llevar este riesgo a un escenario controlado teniendo siempre presente como es la estructura de este tipo de proyectos. Los proyectos de subestaciones eléctricas en esencia están definidos por objetivos específicos, alcances claramente delimitados y tiempos de ejecución predeterminados desde su concepción inicial. En otras palabras, al recibir el proyecto, el

gestor ya dispone de una línea base establecida que incluye objetivos, costos estimados y recursos asignados de acuerdo con el alcance del proyecto. Por tanto, el enfoque principal del proyecto debería centrarse en su ejecución, asumiendo que se ha ofertado correctamente con tiempos estimados y costos acordes al alcance previsto [7].

La ejecución de estos proyectos implica tres etapas esenciales. En primer lugar, se desarrolla la ingeniería básica y detallada. Luego, se procede con el ensamble de tableros y pruebas funcionales en fábrica. Finalmente, se lleva a cabo la instalación en el campo y puesta en marcha. El éxito del proyecto al final dependerá de la consecución ordenada de cada una de estas etapas, cada una con sus propios desafíos. Dado que estas etapas son secuenciales, es vital abordarlas de manera efectiva para garantizar el avance del proyecto según lo previsto en el cronograma inicial [2], [22].

A partir de las etapas previamente mencionadas, se ha llegado a la conclusión que para mejorar los tiempos de ejecución de estos proyectos y mitigar los riesgos asociados, es esencial abordar las primeras dos etapas que son el diseño y el ensamble de tableros. Esto se debe a que, si no se logra cumplir con estas dos etapas de acuerdo con los recursos y tiempos estimados, se corre el riesgo de llegar a la tercera etapa sin disponer de la holgura necesaria para alcanzar los objetivos iniciales. En línea con esto, se establecen los indicadores necesarios para controlar los puntos más críticos identificados durante el análisis de riesgos asociados al proyecto. A continuación, se presentan dos tablas con los indicadores seleccionados y su respectiva forma de medición para cada una de las etapas mencionadas, como se puede observar en la Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 3
Indicadores de seguimiento etapa de diseño

No.	Nombre indicador	Tipo de indicador	Objetivo del indicador	Fórmula	Meta
1	Tiempo de ejecución	Gestión	Evaluar la eficacia en la realización de actividades o procesos asignados.	$(\text{Tiempo de ejecución (hrs x doc)} / \text{Tiempo esperado (hrs x doc)})$	Lograr que el indicador se mantenga por debajo de 1 para la ejecución de todas las tareas.
2	Cambios en requisitos del cliente	Gestión	Medir la estabilidad de los requisitos del proyecto.	$(\text{Número de cambios en los requisitos del proyecto (Mes)})$	Lograr que los cambios en los requisitos del proyecto sean menos de 2 por mes.
3	Cantidad de revisiones	Ejecución	Evaluar la eficiencia del proceso de revisión de documentos y la calidad de los entregables del proyecto.	$(\text{Número de revisiones antes de envió a cliente})$	Implementar un procedimiento de revisión efectivo con el objetivo de reducir el número de revisiones por documento a un máximo de dos.
4	Expectativas del cliente	Gestión	Evaluar la alineación de los documentos con las expectativas del cliente.	$(\text{Número de documentos aprobados por el cliente en primera emisión})$	Alcanzar una tasa de aprobación del 70 % en la primera versión de los documentos emitidos.
5	Tiempo promedio de respuesta a comentarios	Ejecución	Medir el tiempo transcurrido entre la recepción de los comentarios y la atención de estos.	$(\text{Número de días para correcciones} / \text{Número de días para hacer el documento})$	Reducir el tiempo dedicado a realizar correcciones a un máximo del 15 % del tiempo total empleado en la creación del documento original.
6	Tiempo proyecto	Gestión	Comparar los tiempos estimados en la fase de factibilidad (línea base) con los tiempos reales empleados durante la ejecución del proyecto.	$(\text{Tiempo total de ejecución proyecto (hrs)} / \text{Tiempo proyectado (hrs)})$	Asegurar la coherencia entre los plazos planificados y los tiempos efectivamente utilizados, garantizando una diferencia entre estos no mayor al 5 %.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4
Indicadores de seguimiento etapa de ensamble

No.	Nombre indicador	Tipo de indicador	Objetivo del indicador	Fórmula	Meta
1	Tiempo de ensamble	Ejecución	Medir el tiempo que toma el ensamble de un tablero.	(Tiempo de ensamble tablero (hrs) / Tiempo esperado (hrs))	Lograr que el indicador se mantenga por debajo de 1 para el ensamble de los tableros.
2	Cambios en ingenierías	Gestión	Evaluar las modificaciones necesarias en los tableros después de enviar la ingeniería para su ensamble.	(Número de cambios realizados en los tableros (x tablero))	Limitar los cambios en los tableros durante el ensamble a un máximo de una modificación por tablero.
3	Cambios durante amarillado de tableros	Ejecución	Evaluar la eficiencia del proceso de ensamble de tableros y la calidad de estos una vez entregados para amarillar.	(Número de cambios en el tablero durante su amarillado (x tablero))	Garantizar la eficiencia del proceso de ensamble de tableros y la conformidad con los estándares de calidad establecidos, limitando los cambios a máximo 8 una vez que se ha entregado el tablero para el amarillado.

Fuente: elaboración propia.

Con los indicadores propuestos para la etapa de diseño del proyecto, se pretende establecer un control más riguroso sobre las actividades necesarias para alcanzar los objetivos establecidos. Estos indicadores se centran en el tiempo y los recursos, que son los principales riesgos identificados en la primera etapa y que tienen una mayor influencia en el desempeño del proyecto. Esto permitirá identificar áreas de mejora y dará la capacidad de tomar acciones correctivas según sea necesario.

De igual forma se realiza un análisis de indicadores para la etapa de ensamble del proyecto como se puede observar en la Tabla 4.

El planteamiento de estos indicadores está enfocado en poder realizar el análisis detallado de cada fase del proyecto. Los resultados obtenidos permitirán tomar decisiones dirigidas a reducir los tiempos, mejorar la calidad de los entregables y disminuir los costos, lo que contribuirá a mejorar la rentabilidad del proyecto [5].

En la actualidad, las organizaciones se enfrentan a un entorno operativo cada vez más global y dinámico, lo que demanda una adaptación constante a las cambiantes condiciones del mercado. En este contexto, es crucial para las empresas agilizar sus procesos y optimizar el uso de recursos para mantenerse competitivas [22]. Por tal razón otro de los objetivos de estos indicadores es poder identificar las deficiencias actuales en la compañía que pueden estar afectando su competitividad en un mercado en constante evolución y poder realizar acciones correctivas no solo en la dirección de proyectos sino también en la estructura organizacional.

2.3 Herramientas útiles en proyectos de subestaciones eléctricas

La gestión de proyectos presenta un amplio horizonte de posibilidades, dentro de las cuales se plantean diversas herramientas para el control, gestión, ejecución y finalización de proyectos. Con el transcurso de los años, se han desarrollado diversas herramientas destinadas a facilitar la ejecución de actividades en proyectos desde su concepción. Es importante destacar que un proyecto constituye un esfuerzo dirigido a alcanzar objetivos específicos en un plazo determinado. Estas herramientas desempeñan un papel fundamental en mejorar el control y la eficiencia en el seguimiento del proceso de análisis de resultados [26].

Las herramientas de gestión de proyectos suelen definirse en función de las diversas actividades que abarca el proyecto. Es importante tener en cuenta la variedad de herramientas disponibles para la planificación y programación de cada etapa del proyecto. Por tanto, comprender la funcionalidad de cada herramienta, su uso típico y aquellas que son más comúnmente empleadas, facilita el establecimiento de un control preciso de los procesos para alcanzar los objetivos del proyecto de manera efectiva [22].

Con base en la información acá planteada, resulta esencial evaluar el impacto de cada herramienta en el proyecto, con el objetivo de seleccionar las más adecuadas para su desarrollo. Por tanto, es crucial que cada herramienta seleccionada cumpla con aspectos fundamentales, tales como facilitar la comunicación entre los participantes del proyecto, agilizar el trabajo, reducir el tiempo de las actividades, permitir el control del proyecto en tiempo real y mostrar resultados de manera clara y efectiva [13], [26]. Con base en estos criterios, se evaluarán las herramientas para determinar cuáles herramientas son útiles para este tipo de proyectos. Con esta consideración, con ayuda de expertos en el tema y de un análisis de revisión bibliográfica, se procedió a evaluar las diversas herramientas utilizando una escala de calificación del 1 al 5, donde 5 representa una herramienta ideal para satisfacer las necesidades del proyecto, mientras que 1 indica que la herramienta no sería muy útil, considerando que el enfoque se centra exclusivamente en mejorar las etapas de diseño y ensamble [21]. Además, dentro del análisis de la herramienta se realizaron una serie de preguntas buscando determinar los recursos necesarios para implementar cada una de estas, esto tiene como finalidad poder establecer la inversión requerida y así poder hacer un análisis costo-beneficio con y sin la herramienta para determinar su viabilidad, como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5
Evaluación de herramientas para la gestión de proyectos

No.	Herramienta	Etapas de implementación	Roles nuevos de trabajo requeridos (Si/No)	Reduce tiempos (Si/No)	Facilita el trabajo (Si/No)	Puntaje (1-5)	Ref.
1	Entrevistas	Planeación	Si	No	No	2	[27]
2	Juicio de expertos	Planeación	Si	Si	Si	5	[21]
3	Kick-Off	Inicio	No	Si	Si	4	[26]
4	Daily stand-up meetings	Ejecución	No	Si	No	3	[28]
5	Progress Meetings	Ejecución	No	Si	Si	4	[26]
6	Diagrama de Gantt	Planificación	No	Si	Si	4	[22]
7	Análisis de la ruta crítica	Planificación	No	Si	Si	4	[22]
8	Método de la cadena crítica	Planificación	No	Si	No	3	[29]
9	Trello	Supervisión	No	Si	Si	4	[30]
10	Jira	Supervisión	No	Si	Si	3	[31]
11	Project MS	Supervisión	No	Si	Si	5	[22]
12	Matriz de impacto	Cierre	No	No	No	4	[22]
13	Análisis valor ganador	Cierre	No	No	No	1	[22]
14	Análisis económico (VPN – TIR)	Cierre	No	No	No	1	[22]

Fuente: elaboración propia.

Durante la revisión bibliográfica, se identificó como resultado relevante que el uso de estas herramientas estaba influenciado por factores como el género, el nivel educativo, la edad y la actividad del sector de producción [26]. Además, el análisis de las herramientas reveló una distinción entre el enfoque tradicional, caracterizado por un proceso lineal y paso a paso, y el enfoque ágil, que prioriza la flexibilidad y la adaptabilidad [28]. A su vez destacan que más allá de las herramientas que se busque implementar y el enfoque del proyecto “ágil” o “tradicional”, es necesario contar con un gestor de proyectos que posea habilidades de liderazgo, capacidad para trabajar bajo presión y disposición para encontrar soluciones óptimas en diversas situaciones. En este punto el gestor debe desempeñar un papel fundamental en la agilidad del proyecto, especialmente en términos de plazos de entrega, comunicación con el cliente y gestión de conflictos. Estas responsabilidades a menudo pueden descuidarse al buscar una mayor autonomía en las áreas de ejecución de proyectos [32].

Con base en esta tendencia de buscar agilidad en el proyecto se encontró que, en la actualidad, Kanban es una de las metodologías ágiles más implementadas para proyectos no solo relacionados con el desarrollo de software. Kanban, una metodología que incorpora conceptos de LEAN, que es un enfoque de gestión centrado en la minimización de pérdidas en los sistemas de manufactura y la maximización del valor para el cliente, con

el fin de eliminar los procesos innecesarios, y mediante tableros, facilitar la visualización del flujo de trabajo, reduciendo las tareas pendientes y aumentando la productividad [14], [33].

Considerando la tendencia actual en la gestión de proyectos y los criterios definidos anteriormente, se procede a la selección de las herramientas que se consideran pertinentes para supervisar y monitorear las distintas etapas del proyecto en cuestión con base también en los resultados obtenidos en la Tabla 5, A continuación, se presentan las herramientas seleccionadas junto con su utilidad dentro del desarrollo del proyecto, en relación con los indicadores que se pretenden abordar y los riesgos que se busca prevenir, como se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6 .
Descripción de herramientas seleccionadas.

No.	Herramienta	Finalidad de la herramienta	Factores de riesgo que mitiga	Alternativas
1	Juicio de expertos	Establecer que factores de riesgo afectan en mayor medida este tipo de proyectos.	Estimaciones inexactas en cronogramas. Cambios en los requerimientos del proyecto.	Observación científica
2	Kick-Off	Dar inicio al proyecto, y abrir un espacio para discutir los requerimientos y detalles de un nuevo proyecto en profundidad con presencia del cliente.	Cambios en los requerimientos del proyecto. Falta de alineación del grupo con el alcance del proyecto. Problemas de comunicación bilateral.	N/A
3	Progress Meetings	Crear un espacio de reuniones rápidas una vez a la semana reunión corta para hablar sobre el progreso e identificar los impedimentos o problemas presentados.	Desviación con el cronograma establecido. Riesgos emergentes sobre cambios necesarios. Carencias de conocimientos en cuanto a temas a ejecutar Falta de alineación con los objetivos	Daily meetings, Sprints, Stand up meetings
4	Trello	Llevar un seguimiento visual para la gestión y asignación de tareas. Servir de canal de comunicación y facilitar el seguimiento del proyecto.	Desviación con el cronograma establecido. Mala gestión de los recursos del proyecto. Tiempos de corrección de documentos. Mala priorización de las tareas. Cambios en los requerimientos del proyecto.	Jira, MS Project, Asana, Workzone
5	Dashboard de seguimiento	Proporcionar una visualización clara y concisa del estado y rendimiento del proyecto en tiempo real. Evaluar y visualizar una vez finalizado el proyecto de	Perdida de monitoreo de actividades Sobrecostos en actividades Toma de decisiones erróneas por falta de información en tiempo real	Project, Asana
6	Matriz de impacto	manera sistemática y estructurada cómo ciertos factores o eventos afectaron los objetivos del proyecto.	Posibles problemas a futuro con proyectos con un alcance similar	DOFA, Análisis Monte Carlo

Fuente: elaboración propia.

3. ANÁLISIS

La validación del estudio, que es respaldado por el juicio de expertos y el análisis bibliográfico, se llevó a cabo mediante la implementación práctica de las herramientas en un proyecto piloto cuidadosamente seleccionado. El enfoque principal de este fue analizar los beneficios tangibles derivados de la aplicación de estas herramientas en un entorno real y cambiante. Para esto, se eligió un proyecto que cumpliera con ciertos criterios específicos como el hecho de que debía ser de larga duración, es decir al menos cuatro meses para las etapas de diseño y ensamble, abordar un amplio alcance, como el diseño y ensamble de tableros de comunicación, control y protección, entre otros, y ofrecer la posibilidad de acceder a una variedad de recursos necesarios para su ejecución. El objetivo real con la aplicación de estas herramientas era no solo mitigar los factores de riesgo identificados durante la investigación, sino también verificar la efectividad de los indicadores seleccionados para monitorear y gestionar estos riesgos de manera eficiente.

El proyecto piloto da la oportunidad de evaluar cómo las herramientas seleccionadas podrían integrarse efectivamente en el ciclo de vida del proyecto y contribuir a su éxito general [18]. Además, permite recopilar datos empíricos sobre el rendimiento de estas herramientas en situaciones reales, lo que enriquece la comprensión de su impacto potencial en la gestión de proyectos, permitiendo evaluar la utilidad de estas para incorporarlas dentro de la gestión de cualquier proyecto de esta índole. Mediante esta validación práctica, se logra estar en una posición óptima para identificar áreas de mejora y optimización de recursos, así como habilitar la opción para realizar ajustes sobre los enfoques y estrategias en función de los resultados obtenidos.

3.1 Características del proyecto piloto

Como fue mencionado en el anterior apartado, se buscaba un proyecto piloto que cumpliera con ciertas características para obtener datos verídicos y útiles que respaldaran su aplicación en otros proyectos de la organización. En este sentido, se optó por un proyecto programado para ejecutarse entre los años 2023 y 2024, con una duración estimada de ocho meses, centrado en aspectos de comunicaciones, distribución y control, como se puede observar en la Tabla 7.

Tabla 7 .
Características del proyecto piloto.

No.	Características del proyecto piloto	
1	Alcance general del proyecto	- Tableros de comunicación - Tableros de medida - Tablero de Servicios Auxiliares AC (SSAA AC) - Tablero de servicios auxiliares DC (SSAA DC) - Configuración de los IED y controlador de bahía
2	Alcance y suministros	- Tablero controlador de la S/E tipo interior - Tablero de comunicaciones tipo interior - Dos tableros de medidores tipo interior - Tablero de seguridad y vigilancia tipo interior - Transformador tipo pedestal 34.5 / 0.208 kV - Transformador tipo pedestal 13.5 / 0.208 kV - Tablero SSAA AC - Tablero SSAA DC
3	Tiempo total de trabajo estimado	7 a 9 meses
4	Trabajos en sitio	2 a 3 meses
5	Trabajos en oficina – Etapa diseño	3 a 4 meses
6	Trabajo en ensamble – Pruebas FAT	1 a 2 meses
7	Tiempo estimado por el cliente	8 meses
8	Total, personas estimadas para el proyecto	4 personas
9	Gestor proyecto	1 persona
10	Líder proyecto	1 persona
11	Personas a cargo de diseño y pruebas	2 personas
12	Tipo de ingenieros para diseño	1 ingeniero tipo 1 1 ingeniero tipo 2

Fuente: elaboración propia.

3.2 Proyecto piloto - etapa de diseño

Una vez definidas las características del proyecto piloto, se convocó una reunión de kick-off el 9 de junio de 2023, en la que participaron los interesados clave del proyecto y el cliente. Durante este encuentro, se aclararon las dudas y se proporcionó una breve descripción del proyecto, junto con los resultados esperados. Posteriormente, se inició el estudio interno del proyecto y la asignación de tareas mediante una reunión interna del equipo. El propósito principal de esta sesión fue proporcionar una visión general del proyecto, delineando los plazos estimados para cada fase y presentando las nuevas herramientas que se implementarían durante su ejecución. Este enfoque permitió que todos los miembros del equipo comprendieran claramente los pasos a seguir.

En cualquier reunión inicial de proyecto, es esencial establecer los canales de comunicación y definir el flujo de trabajo esperado para garantizar el éxito del proyecto. Además, estas reuniones sirven para abordar cualquier inquietud que pueda surgir en el equipo, evitando posibles retrasos durante la ejecución de la ingeniería [14], [34]. La falta de comunicación asertiva y la falta de experiencia dentro del equipo son factores de riesgo identificados durante la etapa de investigación, los cuales pueden ocasionar demoras en el trabajo. Por tanto, establecer metas a corto plazo desde el principio es una herramienta vital para mitigar estos riesgos. Este enfoque, comúnmente utilizado en el desarrollo de proyectos con metodologías ágiles, subraya la importancia de estar preparado para adaptarse a cualquier cambio desde el inicio del proyecto.

Con esta idea en mente se presenta la aplicación Trello. Esta herramienta facilita la organización y claridad en el flujo de trabajo durante la etapa de diseño del proyecto [30]. Además, ofrece al gestor del proyecto la capacidad de supervisar las actividades de cada miembro del equipo de forma transparente y organizada, sin la necesidad de convocar reuniones constantes. Al mismo tiempo, permite mantener al equipo informado sobre las tareas asignadas en ese momento y después de completar cada actividad, lo que proporciona una mayor flexibilidad al proyecto. Dentro del marco de trabajo de Trello, se organizó toda la documentación necesaria para la etapa de diseño y se estableció una secuencia de actividades siguiendo la metodología Kanban, que comprende las fases "to do", "doing" y "done", un flujo de trabajo estándar en cualquier proyecto. Además, se agregaron dos secciones adicionales, una para los documentos pendientes de revisión por parte del líder técnico y otra para la información lista para enviar al cliente como se puede ver en la Figura 3. El objetivo era que esta herramienta no solo mejorara la fluidez del trabajo, sino que también redujera el tiempo dedicado a las reuniones de seguimiento "progress meetings".

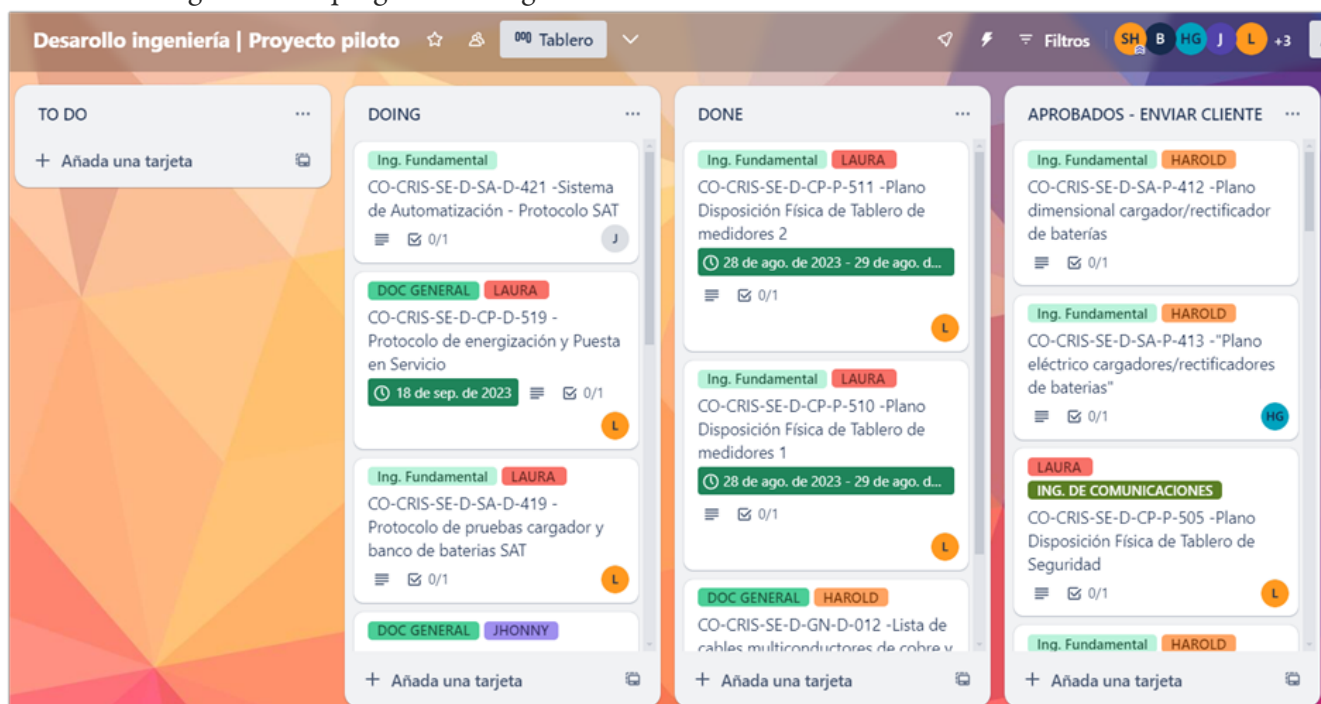


Figura 3.

Distribución de trabajo plataforma Trello.

Fuente: elaboración propia.

Para esta etapa se tenían identificados unos factores de riesgo que podrían influir en el desarrollo de la ingeniería que se pueden observar en la Tabla 2, y que debían ser considerados durante la ejecución del proyecto. Por lo tanto, el control de estos factores a través de los indicadores, que se pueden observar en la Tabla 3, era crucial. Sin embargo, aunque Trello resultaba una herramienta útil para el seguimiento de las actividades, carecía de la capacidad para monitorear los tiempos de entrega de manera precisa.

Por esta razón, se decidió implementar la creación de un Dashboard utilizando Excel. Este tenía como objetivo principal controlar los tiempos de entrega reales de cada documento, en comparación con los plazos establecidos en la plataforma Trello. De esta manera, se aseguraría la obtención de datos precisos para realizar comparaciones al final del proyecto y se mantendría un registro histórico de la evolución de cada documento y del conjunto de los mismos. Además, el Dashboard contribuiría al control del número de versiones emitidas para cada documento, lo que proporcionaría una visión más completa del proceso de desarrollo de la ingeniería, como se observa en Tabla 8.

Tabla 8
Dashboard de seguimiento

Tipo Doc.	Listado de entregables	Código	Persona a cargo	Rev. 0	Días de trabajo esperados	Días de trabajo reales	Días de retraso
COM	Arquitectura del sistema de comunicaciones	CO-CRIS-SE-D-CP-P-502	B. Ávila	Comentarios	25	27	-2
GEN	Lista de cables multiconductores de cobre y FO	CO-CRIS-SE-D-GN-D-012	J. Arandia	Comentarios	25	27	-2
FUND	Diagrama unifilar de corriente directa	CO-CRIS-SE-D-SA-P-401	H. Guerrero	Comentarios	25	27	-2
FUND	Diagrama unifilar de corriente alterna 127 - 208 V	CO-CRIS-SE-D-SA-P-400	P. García	Comentarios	25	27	-2
FUND	Memoria de verificación de cálculos de servicios auxiliares AC	CO-CRIS-SE-D-SA-D-403	P. García	Comentarios	25	27	-2
FUND	Memoria de verificación de cálculos de servicios auxiliares DC	CO-CRIS-SE-D-SA-D-404	H. Guerrero	Comentarios	25	27	-2
GEN	Especificaciones de tableros	CO-CRIS-SE-D-GN-D-007	B. Ávila	Comentarios	25	27	-2
FUND	Diagramas de principio de SSAA AC	CO-CRIS-SE-D-SA-P-402	B. Ávila	Comentarios	25	27	-2
FUND	Lista de documentos entregables	CO-CRIS-SE-D-GN-D-001	J. Arandia	Comentarios	25	27	-2
GEN	Lista de Equipos a Suministrar	CO-CRIS-SE-D-GN-D-002	J. Arandia	Comentarios	25	27	-2
GEN	Características técnicas de transformadores de SSAA	CO-CRIS-SE-D-GN-D-008	J. Arandia	Comentarios	25	27	-2

COM	Arquitectura del sistema de comunicaciones	CO-CRIS-SE-D-CP-P-502	B. Ávila	Comentarios	25	27	-2
GEN	Lista de cables multiconductores de cobre y FO	CO-CRIS-SE-D-GN-D-012	J. Arandia	Comentarios	25	27	-2
FUND	Diagrama unifilar de corriente directa	CO-CRIS-SE-D-SA-P-401	H. Guerrero	Comentarios	25	27	-2

El Dashboard presentado se asemeja al control que se puede lograr mediante software como MS Project. Esto valida que la plataforma de Trello puede ser una herramienta complementaria que no solo simplifica la gestión del proyecto, sino que también actúa como un canal de comunicación efectivo. Este aspecto a su vez se ve potenciado por las “progress meetings” programadas semanalmente.

Al integrar estas herramientas, se mejora la claridad del proceso realizado, lo que permite una mejor comprensión del progreso del proyecto. Además, las reuniones programadas permiten abordar dudas y resolver problemas de manera más eficiente. Al contar con Trello, se evita el tiempo que se desperdiciaría revisando el trabajo individual de cada miembro del equipo o asignando tareas que ya están definidas en la plataforma. En cambio, estas reuniones pueden centrarse en cuestiones más estratégicas y resolver obstáculos que puedan surgir durante el desarrollo de la ingeniería.

3.3 Proyecto piloto - etapa de ensamble

La segunda fase del proyecto piloto se centra en el seguimiento del ensamble de los tableros. Esta etapa comienza una vez que todos los documentos de diseño han sido aprobados para la construcción y cuentan con la aprobación del cliente. Se espera que, a diferencia de la etapa de diseño, esta fase no presente retrasos significativos debido a imprevistos o cambios por parte del cliente, los cuales pueden causar demoras considerables en la ejecución del proyecto. Sin embargo, esta etapa conlleva riesgos relevantes adicionales, especialmente en lo que respecta a la entrega oportuna de materiales por parte de los proveedores y la correcta solicitud de los mismos. Por lo tanto, la experiencia y la pericia tanto del gestor del proyecto como del líder técnico son fundamentales para garantizar que se dispongan de todos los implementos necesarios para facilitar el desarrollo del ensamble.

Para supervisar y controlar las actividades relacionadas con el ensamble, se estableció la necesidad de realizar reuniones periódicas en el lugar de ensamble. Estas reuniones presenciales permiten observar el estado de los tableros y abordar cualquier duda técnica que pueda surgir durante la instalación de los componentes.

Mediante el análisis del juicio de expertos, se identificaron los puntos críticos que deben cumplirse para completar con éxito el ensamble de los tableros, lo que sirvió como base para el desarrollo de un Dashboard. Esta herramienta, se diseña para abarcar tanto los aspectos mecánicos como eléctricos del ensamble, facilitando el seguimiento del avance en el área, permitiendo un control preciso de las tareas completadas y aquellas que requieren atención adicional o corrección.

El objetivo principal de este Dashboard era proporcionar un control detallado de cada uno de los tableros, destacando claramente sus necesidades y componentes específicos. A pesar de que la mayoría de los tableros comparten elementos similares, existen equipos particulares que diferencian su funcionalidad. Aspectos críticos como la programación del controlador de estación, para facilitar la comunicación con el centro de control de los equipos de patio, y la programación del controlador de transferencia, para cambiar entre fuentes de alimentación en caso de falla, también se tuvieron en cuenta. Estos elementos fueron incorporados en el

Dashboard para ofrecer una visión precisa del progreso de cada tablero, mostrando su avance real en el proceso de desarrollo, como se observa en Figura 4.



Figura 4 .

Dashboard de seguimiento etapa ensamble.

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados presentados en este artículo no pretenden contradecir las contribuciones previas de otros autores, sino aportar un valor añadido al proponer enfoques alternativos para la gestión de proyectos en el sector eléctrico. Comparando con otros estudios, se tiene como resultado que la inclusión de metodologías ágiles tienen particular funcionalidad para proyectos en los cuales se puedan presentar problemas difícilmente pronosticables, por lo que ese tipo de metodologías le podría dar flexibilidad al desarrollo de proyectos garantizando así un cumplimiento de los objetivos planteados desde un comienzo [24]. En este contexto, se destacan las lecciones aprendidas y los puntos de inflexión experimentados en cada una de las etapas del proyecto que demuestran la importancia de tener un grado de flexibilidad a la hora de ejecutar proyectos con enfoques tradicionales [28].

Durante la fase inicial del proyecto, es decir la etapa de diseño, se enfrentaron varios desafíos y riesgos que impactaron su progreso. La demora en la corrección de los planos, que en algunos casos superó los 5 días, representó un contratiempo significativo, ya que se esperaba que este proceso consumiera menos del 15 % del tiempo empleado en la elaboración del documento inicial. Además, se identificaron dificultades relacionadas con los formatos de los documentos y la falta de claridad sobre los equipos que conformaban los tableros, lo que implicó una curva de aprendizaje más pronunciada para el equipo que en su mayoría no tenían la experiencia en otros proyectos por lo que fue otro de los riesgos que se logró mitigar por medio de reuniones periódicas y un seguimiento continuo de las actividades. Los ajustes constantes solicitados por el cliente, tanto en equipos como en ingenierías, añadieron complejidad al proceso. Asimismo, la reubicación del personal para cubrir otras áreas de necesidad dentro del proyecto y la acumulación de documentos para revisar, donde se privilegiaba la forma sobre el funcionamiento integral, obstaculizaron la eficiencia y el progreso del proyecto.

Sin embargo, la implementación de Trello y el Dashboard de seguimiento desempeñaron un papel crucial en la orientación del trabajo y la consecución de resultados satisfactorios durante la etapa de diseño. Estas herramientas proporcionaron flexibilidad al desarrollo del proyecto y facilitaron la gestión de tareas y el seguimiento del progreso. Los resultados obtenidos se reflejaron en la curva S de ejecución, que comparó la línea base de tiempos establecida al inicio del proyecto con respecto a los tiempos reales empleados, evidenciando una mejora significativa en la eficiencia y el cumplimiento de los objetivos a medida que avanzaba la etapa de diseño, como se observa en la Figura 5.

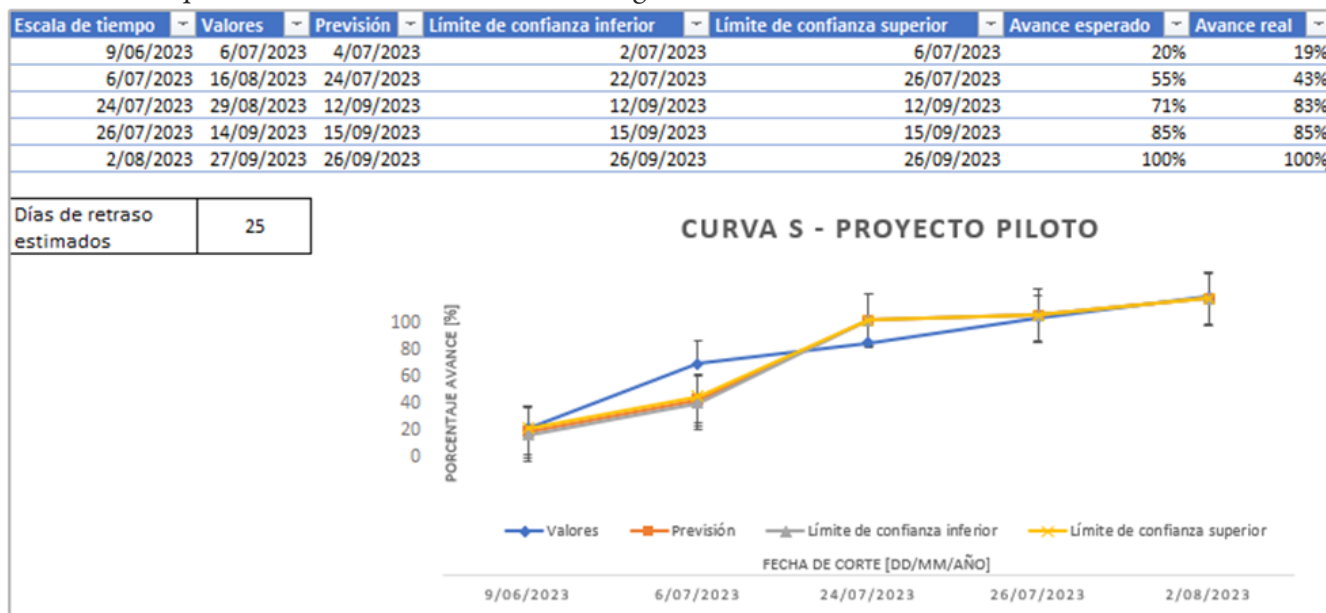


Figura 5 .

Curva S - Desarrollo proyecto piloto.

Fuente: elaboración propia.

El retraso evidenciado en la curva S presentada en la Figura 5, puede atribuirse principalmente a varios factores. En primer lugar, la curva de aprendizaje de los integrantes del proyecto fue un factor clave, ya que la adaptación a nuevas herramientas y metodologías como Trello y el Dashboard de seguimiento llevó tiempo. Además, los cambios solicitados por el cliente durante la fase de diseño también contribuyeron significativamente a la extensión de los plazos programados. Estos elementos combinados tuvieron un impacto directo en el progreso del proyecto, resaltando la importancia de la capacitación continua y la gestión efectiva de las expectativas del cliente para mitigar posibles retrasos en el futuro.

A continuación, se ofrece un análisis de los resultados obtenidos durante la etapa de diseño del proyecto, en contraste con datos históricos recopilados de otros proyectos con alcances similares. Este análisis destaca la utilidad de las herramientas implementadas y los beneficios que pueden derivarse del uso de dichas herramientas en proyectos de esta naturaleza, como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9
Resultados obtenidos etapa de diseño

No.	Apartado	Proyecto Piloto	Datos históricos	Comparativa
1	Tiempo total de trabajo en días hábiles	73 días	106.13 días	Mejora en tiempos del 31.21 %
2	Total, documentos desarrollados (Cantidad de documentos / días hábiles laborados)	0.6438 doc x día	0.3768 doc x día	En promedio se tuvo un avance positivo de 0.267 doc x día
3	Días totales de retraso frente a la previsión inicial.	25 días	39.88 días	Se logró disminuir el desfase del proyecto con relación al pronóstico inicial en un 37.31 %

Fuente: elaboración propia.

Durante la segunda etapa del proyecto, es decir la etapa de ensamble, se enfrentaron diversos desafíos y riesgos que requerían ser mitigados para garantizar el éxito del proyecto. Entre las herramientas implementadas para gestionar y supervisar el proceso se encontraban el Dashboard de Seguimiento de Pendientes y las reuniones periódicas presenciales. Estas herramientas permitieron monitorear el tiempo de ensamble por tablero y mantener un control riguroso sobre el progreso de las actividades.

Sin embargo, a pesar de estas medidas, se evidenciaron varios problemas y riesgos que afectaron el desarrollo del ensamble, riesgos que, aunque habían sido contemplados durante el estudio de juicio de expertos, no se realizaron las medidas preventivas pertinentes para evitar que se presentaran. Entre los principales desafíos se encontraban la falta de equipos y materiales, errores detectados en la ingeniería, cambios en la disposición mecánica, modificaciones en el personal asignado al proyecto, dificultades en la comunicación dentro del equipo, errores conceptuales originados por reproducir ingenierías existentes sin validar su funcionalidad, fallos en el cableado y la presión de tiempos ajustados debido a una planificación ajustada en el cronograma.

Estos desafíos destacan la importancia de la experiencia y la capacitación del equipo en proyectos de esta índole. Además, subrayan la utilidad y la necesidad de herramientas efectivas de gestión y seguimiento, como el Dashboard y las reuniones presenciales, para identificar y abordar rápidamente los problemas que surgen durante el ensamble de los tableros. Los resultados de la etapa final evaluada en este artículo se presentan en comparación a datos históricos de proyectos con alcance similar para contrastar los resultados obtenidos, como se puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10
Resultados obtenidos etapa de ensamble

No.	Apartado	Proyecto Piloto	Datos históricos	Comparativa
1	Tiempo total de trabajo en días hábiles	28 días	57 días	Mejora en tiempos del 50.87 %
2	Días totales de retraso frente a la previsión inicial.	1 días	6 días	Se logro disminuir el desfase del proyecto con relación al pronóstico inicial en un 83.33 %

Fuente: elaboración propia.

Tanto el análisis de fuentes bibliográficas confiables como la evaluación llevada a cabo con la ayuda del juicio de expertos contribuyeron significativamente a la obtención de estos hallazgos. Aunque algunos indicadores pueden considerarse menos cruciales para la implementación, otros proporcionan resultados claros que permiten identificar acciones correctivas necesarias. En este contexto, se ha desarrollado una matriz de impacto en relación con la investigación, que servirá como base para la toma de decisiones futuras. Dicha matriz constituye una herramienta valiosa para abordar los desafíos identificados y mejorar la eficiencia en proyectos similares en el futuro.

La matriz de impacto que se observa en la Tabla 11, debe interpretarse considerando la evaluación de cada factor en una escala del 1 al 5 como se observa en la Tabla 12. La columna de riesgo inherente en la matriz refleja una combinación única de factores y su potencial impacto en el proyecto con base en la probabilidad de que esto ocurra como se observa en la Tabla 13. Los valores numéricos asignados a esta columna indican el nivel de riesgo o importancia de cada factor, con 1 representando el menor impacto y 5 el mayor. Se requiere una atención especial en las celdas con valores más altos, ya que señalan áreas críticas que demandan prioridad en la gestión del riesgo. En este punto, es crucial realizar un análisis detallado para determinar las estrategias de mitigación adecuadas. Se debe evaluar si la implementación de medidas para mitigar estos riesgos resulta favorable en términos de costo-beneficio, o si es más prudente dejarlos sin intervención.

Tabla 11
Matriz de impacto.

No.	Riesgo	Impacto	Probabilidad [%]	Riesgo inherente
1	Rotación de personal a diferentes proyectos	4	75	3
2	Falta de estandarización en procesos	3	92	2.76
3	Tiempos cortos para ejecución y revisión de documentación	3	59	1.77
4	Falta experiencia	4	71	2.84
5	Carencias o vacíos de conocimiento	2	76	1.52
6	Salidas de personal de la compañía	4	28	1.12
7	Problemas de comunicación	5	6	0.3
8	Falta de claridad de los equipos que tiene el proyecto que va a suministrar el cliente	3	60	1.8

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12
Valoración del impacto.

No.	Riesgo	Valor
1	Insignificante	1
2	Menor	2
3	Moderado	3
4	Mayor	4
5	Catastrófico	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13
Valoración de la probabilidad

No.	Riesgo	Valor [%]
1	Muy baja	0 – 20
2	Baja	20.1 – 40
3	Media	40.1 – 60
4	Alta	60.1 – 80
5	Muy alta	80.1 – 100

Fuente: elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran la importancia de identificar claramente los riesgos inherentes antes de la estructuración de un proyecto. Es fundamental comprender que, aunque cada proyecto en el sector de subestaciones eléctricas pueda ser diferente, su finalidad y objetivo son esencialmente los mismos. Por tanto, muchos de los riesgos presentados durante su desarrollo pueden ser mitigados mediante la correcta implementación de indicadores, la estandarización de procesos y otras herramientas que faciliten la gestión de riesgos del proyecto. Entre los factores críticos se pueden destacar, la experiencia del personal en el desarrollo de las actividades del proyecto, los tiempos ajustados del cronograma y la pérdida de capital humano. Aunque este último es un factor de riesgo que impacta en gran medida un proyecto, no es algo que se pueda controlar completamente; por tanto, para mitigar este riesgo, se requiere potenciar la cultura organizacional de la compañía de tal forma que se genere un sentido de pertenencia. Otros factores de riesgo, como la falta de experiencia o carencias técnicas, pudieron ser resueltos mediante la aplicación de indicadores de seguimiento, como el número total de revisiones, que destaca la curva de aprendizaje de las personas involucradas en el proyecto, el tiempo de ejecución del proyecto y el tiempo de ensamble. Estos indicadores, en conjunto, permiten al gestor proporcionar tiempos reales de avance del proyecto, lo cual es fundamental para cumplir con los hitos plasmados en el cronograma inicial y asegurar un flujo de caja estable dentro de la compañía.

La investigación también permitió identificar que un indicador fundamental es el tiempo de respuesta a comentarios. Este indicador tuvo un impacto significativo en el cronograma inicial del proyecto, ya que a menudo no se contempla la atención a comentarios pensando que la ingeniería va a quedar perfecta desde la primera entrega, y los retrasos en los tiempos de respuesta a estos, pueden afectar la holgura presente entre el desarrollo de la ingeniería y el inicio del ensamble. Esto partiendo de la premisa de que no es posible comenzar la etapa de ensamble sin tener una ingeniería de detalle aprobada. Por tanto, es esencial implementar nuevas herramientas que faciliten la gestión y el seguimiento de las actividades requeridas para cada etapa, asegurando que los comentarios y revisiones se manejen de manera eficiente para mantener el cronograma del proyecto.

En este punto, la implementación de herramientas como Trello y el Dashboard de seguimiento han demostrado ser beneficiosa en el desarrollo de proyectos de subestaciones eléctricas, demostrando que es posible incluir aspectos de metodologías ágiles dentro de proyectos con alcances ya definidos, especialmente en la etapa de diseño y ensamble. Los resultados obtenidos reflejan una mejora significativa en la organización y supervisión de actividades, lo que ha permitido un mejor control de los procesos y una reducción en los tiempos de ejecución. Sin embargo, se identifican áreas de mejora, factores de riesgo no tenidos en cuenta, así como falencias en cuanto a la capacitación del personal en el uso eficaz de estas herramientas. En este sentido, se recomienda una mayor atención en la planificación y mitigación de riesgos, así como una evaluación continua de la efectividad de las herramientas implementadas para optimizar aún más los procesos dentro de la compañía.

Por otro lado, se aclara que estos no son resultados concluyentes, y que muchas de las conclusiones acá presentadas pueden estar sesgadas con base en la información recolectada, por lo que es necesario seguir probando las herramientas acá señaladas en otros contextos. Se destaca también importancia de generar confianza entre los líderes y sus equipos, así como la experiencia del personal a cargo en la gestión de proyectos.

Por último, se resalta que es vital identificar los factores clave que garanticen la fluidez y calidad del proyecto, ya que cualquier fallo podría atribuirse a procesos inadecuados o elección incorrecta de metodologías o herramientas para la ejecución del proyecto.

Para trabajos futuros, se sugiere profundizar en la metodología con herramientas adicionales e identificar cómo podrían estas integrarse de manera armónica al desarrollo de este tipo de proyectos. Además, este estudio abre la posibilidad de desarrollar estrategias concretas a partir del análisis de la matriz de probabilidad e impactos mediante un análisis estratégico dentro de la organización. También se espera que sirva de base para explorar la aplicación de la investigación en otros ámbitos relacionados con subestaciones eléctricas, detallando posibles contextos y beneficios específicos para el sector.

REFERENCIAS

- [1] G. S. Pereira, O. Novaski, N. F. dos Santos Neto, and F. de A. da S. Mota, "Study on the state of the art of critical success factors and project management performance," *Gestão & Produção*, vol. 29, p. e4722, Oct. 2022. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e4722>
- [2] *GUÍA PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS*, UPM-Kymmene Corporation, Helsinki, Finlandia, 2018. <https://www.upm.uy/siteassets/documents/guia-para-la-formulacion-de-proyectos.pdf>
- [3] A. R. Saenz Arteaga, "El Éxito de la Gestión de Proyectos. Un nuevo enfoque entre lo tradicional y lo dinámico," Ph.D. Tesis, Universitat Ramon Llull, España, 2013. <http://hdl.handle.net/10803/117483>
- [4] M. Loosemore, J. Raftery, C. Reilly, and D. Higgon, *Risk Management in Projects*, 1st ed. Londres: Routledge, pp. 31-63, 2012. <https://doi.org/10.4324/9780203963708>
- [5] G. Montero Fernández-Vivancos, "Diseño de Indicadores para la gestión de proyectos," Ph.D. Tesis, Universidad de Valladolid, Valladolid, España, 2016. <https://doi.org/10.35376/10324/22086>
- [6] N. Bahnas, K. Adel, R. Khallaf, and A. Elhakeem, "Monitoring and controlling engineering projects with blockchain-based critical chain project management," *Automation in Construction*, vol. 165, p. 105484, Sep. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105484>
- [7] J. Kim, J. Lim, L. Hyung-Chul, and D. Y. Kim, "Improving Sustainable Project Success Strategies Focused on Cost and Schedule for Electrical Construction Project Management," *Sustainability*, vol. 14, no. 5, mar. 2022, <https://doi.org/10.3390/su14052653>
- [8] P. Marnada, T. Raharjo, B. Hardian, and A. Prasetyo, "Agile project management challenge in handling scope and change: A systematic literature review," *Procedia Computer Science*, vol. 197, pp. 290–300, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.143>
- [9] L. Zheng, C. Baron, P. Esteban, R. Xue, Q. Zhang, and S. Yang, "Using Leading Indicators to Improve Project Performance Measurement", *J Syst Sci Syst Eng.*, vol. 28, no. 5, pp. 529–554, Oct. 2019. <https://doi.org/10.1007/s11518-019-5414-z>
- [10] J. L. Alves, E. A. Ferreira, and J. de Nadae, "Crisis and Risks in Engineering Project Management: A Review," *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, vol. 18, no. 4, p. e2021991, Apr. 2021. <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2021.026>
- [11] J. Shen, and M. Zhang, "The risk management analysis of electric power engineering project," in *Advances in Intelligent and Soft Computing*, D. Jin, and S. Lin, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 495–499. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29390-0_79
- [12] S. Mamoghli, V. Goepp, and V. Botta-Genoulaz, "An approach for the management of the risk factors impacting the model-based engineering methods in ERP projects," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 11, pp. 1206–1211, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.426>
- [13] M. Papadaki, A. W. Gale, J. R. Rimmer, R. J. Kirkham, A. Taylor, and M. Brown, "Essential Factors that Increase the Effectiveness of Project/Programme Risk Management," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 119, pp. 921–930, Mar. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.103>
- [14] J. Baschin, D. Inkermann, and T. Vietor, "Agile process engineering to support collaborative design," *Procedia CIRP*, vol. 84, pp. 1035–1040, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.05.010>
- [15] C. K. I. Che Ibrahim, S. B. Costello, and S. Wilkinson, "Key indicators influencing the management of team integration in construction projects," *International Journal of Managing Projects in Business*, vol. 8, no. 2, pp. 300–323, Apr. 201. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-04-2014-0028>

- [16] M. Stanitsas, and K. Kirytopoulos, "Investigating the significance of sustainability indicators for promoting sustainable construction project management," *International Journal of Construction Management*, vol. 23, no. 3, pp. 434–448, Mar. 2021. <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1887718>
- [17] M. Endres, P. M. Bican, and T. Wöllner, "Sustainability meets agile: Using Scrum to develop frugal innovations," *Journal of Cleaner Production*, vol. 347, p. 130871, May. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130871>
- [18] L. B. Carneiro, A. C. C. L. M. Silva, and L. H. Alencar, "Scrum Agile Project Management Methodology Application for Workflow Management: A Case Study," in *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Bangkok, Thailand, 2018, pp. 938-942. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607356>
- [19] P. Robles Garrote, M. Del, C. Rojas, "La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada Validation by expert judgements: two cases of qualitative research in Applied Linguistics," *Revista Nebrija la Enseñanza de las Lenguas*, vol. 9, no. 18, pp. 124-139, Mar. 2015. https://www.nebrija.com/revista-linguistica/files/articulosPDF/articulo_55002aca89c37.pdf
- [20] A. Mendoza, C. Solano, D. Palencia, and D. García, "Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos," *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 27, no. 3, pp. 348–360, Sep. 2019. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052019000300348>
- [21] N. Mukherjee, A. Zabala, J. Huge, T. O. Nyumba, B. Adem Esmail, and W. J. Sutherland, "Comparison of techniques for eliciting views and judgements in decision-making," *Methods Ecology Evolution*, vol. 9, no. 1, pp. 54–63, Jan. 2018. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12940>
- [22] *A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide)*, 7th ed., Project Management Institute, Newtown Square, EE. UU, 2017. <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok>
- [23] J. Sithambaram, M. H. N. B. M. Nasir, and R. Ahmad, "Issues and challenges impacting the successful management of agile-hybrid projects: A grounded theory approach," *International Journal of Project Management*, vol. 39, no. 5, pp. 474–495, Jul. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2021.03.002>
- [24] C. Gheorghe, A. Greculescu, and L. Melcescu, "AGILE APPROACH IN ELECTRICAL ENGINEERING. RESEARCH IMPACT AND OUTCOMES," in *Conference: 22nd International Scientific Conference on Economic and Social Development – "The Legal Challenges of Modern World"* Split, Croatia, 2017. https://www.researchgate.net/publication/318227225_AGILE_APPROACH_IN_ELECTRICAL_ENGINEERING_RESEARCH_IMPACT_AND_OUTCOMES
- [25] D. Gutiérrez, "La construcción de indicadores como problema epistemológico," *Cinta Moebio*, no. 34, pp. 16-36, Mar. 2009. <https://doi.org/10.4067/S0717-554X2009000100002>
- [26] C. Miranda, A. Tereso, A. M. Gonçalves, P. Sousa, and P. Engrácia, "Study on project management in Portugal within the scope of the Portuguese Project Management Observatory," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 219, pp. 1885–1892, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.487>
- [27] C. A. Atara, M. D. Liberato, D. A. Sierra, and A. J. Vargas, "Conceptos clave para la Gestión de Proyectos Tecnológicos," *Tecnol. Investig. Academia TIA*, vol. 4, no. 1, pp. 15–34, Apr. 2016. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/view/5714>
- [28] D. Ciric, B. Lalic, D. Gracanin, N. Tasic, M. Delic, and N. Medic, "Agile vs. Traditional approach in project management: Strategies, challenges and reasons to introduce agile," *Procedia Manuf.*, vol. 39, pp. 1407–1414, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.314>

- [29] T. Raz, R. Barnes, and D. Dvir, "A Critical Look at Critical Chain Project Management," *Project Management Journal*, vol. 34, no. 4, pp. 24–32, Dec. 2003. <https://doi.org/10.1177/875697280303400404>
- [30] A. Kaur, "App Review: Trello," *Journal of Hospital Librarianship*, vol. 18, no. 1, pp. 95–101, Feb. 2018. <https://doi.org/10.1080/15323269.2018.1400840>
- [31] A. Mishra and D. Mishra, "Software project management tools: A brief comparative view," *Softw. Eng. Notes*, vol. 38, no. 3, pp. 1–4, May. 2013. <https://doi.org/10.1145/2464526.2464537>
- [32] Y. Shastri, R. Hoda, and R. Amor, "The role of the project manager in agile software development projects," *Journal of Systems and Software*, vol. 173, p. 110871, Mar. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110871>
- [33] M. Zielske, and T. Held, "Agile methods used by traditional logistics companies and logistics start-ups: a systematic literature review," *Journal of Systems and Software*, vol. 190, p. 111328, Aug. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2022.111328>
- [34] J. A. Ocanã, *Gestión de proyectos con mapas mentales: vol. 2*, San Vicente: Editorial Club Universitario, 2012 – p. 295. https://www.academia.edu/34968220/Kupdf_com_gestion_de_proyectos_con_mapas_mentales

Notas

6. AGRADECIMIENTOS:

Se desea expresar un sincero agradecimiento a la organización "Axon Group" por haber dado la oportunidad de llevar a cabo este proyecto piloto. El apoyo proporcionado fue fundamental para el desarrollo exitoso de la iniciativa. Se agradece la confianza y la colaboración continua que se recibió durante todo el proceso. Esta experiencia ha sido enriquecedora y ha contribuido significativamente a mi crecimiento profesional.

CONFLICTOS DE :

INTERÉS Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés con el contenido de esta investigación.

CONTRIBUCIÓN :

DE AUTORÍA *Santiago Andres Osorio Huertas*: Metodología, investigación, revisión y edición.
Óscar Danilo Montoya Giraldo: Conceptualización, metodología, investigación, revisión y edición. Todos los autores leyeron y están de acuerdo con la publicación de esta versión del manuscrito.

Información adicional

Cómo citar / How to cite: S. A. Osorio-Huertas, and Ó. D. Montoya-Giraldo, "Análisis de factores de riesgo e indicadores relevantes para optimizar la ejecución de proyectos de subestaciones eléctricas," *Tecnológicas*, vol. 27, no. 61, e3070, 2024. <https://doi.org/10.22430/22565337.3070>

Enlace alternativo

<https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/issue/view/142> (html)



Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344278917002>

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la
academia

Santiago Andrés Osorio-Huertas,

Óscar Danilo Montoya-Giraldo

**Análisis de factores de riesgo e indicadores relevantes
para optimizar la ejecución de proyectos de
subestaciones eléctricas**

***Analysis of Risk Factors and Relevant Indicators to
Optimize the Execution of Electric Substation Projects***

Tecnológicas

vol. 27, núm. 61, p. 1 - 27, 2024

Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia

tecnologicas@itm.edu.co

ISSN: 0123-7799

ISSN-E: 2256-5337

DOI: <https://doi.org/10.22430/22565337.3070>



CC BY-NC-SA 4.0 LEGAL CODE

**Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-
CompartirIgual 4.0 Internacional.**