



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS DE ANÁLISIS DE
DATOS Y VISUALIZACIÓN INTERACTIVA INTEGRADAS A LA METODOLOGÍA
DEL VALOR GANADO PARA MEJORAR EL PROCESO DE MONITOREO Y
CONTROL DE OBRA DE LA EMPRESA ANFER INGENIERÍA S.A.S.**

Programa de Maestría en Ingeniería Civil

Presentado por:

DIEGO FERNANDO HERNANDEZ JARAMILLO, Esp.

Dirigido por:

PABLO ALEJANDRO ZÚÑIGA GUEVARA, Msc.

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Junio de 2025

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	5
1.2.1 Planteamiento del problema	5
1.2.2 Alcance.....	7
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	10
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	12
1.4.1 Objetivo general	12
1.4.2 Objetivos específicos.....	13
1.4.3 Resultados esperados.....	13
CAPÍTULO 2: MARCO DE REFERENCIA.....	15
2.1 MARCO CONCEPTUAL.....	15
2.1.1 Gestión de proyectos de construcción	15
2.1.2 Gestión del Valor Ganado (Earned Value Management – EVM).....	17
2.1.3 Indicadores Clave de Desempeño (Key Performance Indicators – KPIs)	18
2.1.4 Inteligencia de Negocios (Business Intelligence – BI).....	18
2.1.5 Panel de control	19
2.1.6 Arquitectura de datos.....	20
2.2 REVISIÓN DE LITERATURA	22
2.2.1 Implementación de dashboards en proyectos de construcción	22
2.2.2 Dashboards y productividad en la construcción	24
2.2.3 Monitoreo en tiempo real	24
2.2.4 Vacíos en el conocimiento.....	25

2.2.5	Relevancia de esta investigación	28
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....		30
3.1	DIAGNÓSTICO DEL PROCESO ACTUAL DE MONITOREO Y CONTROL DE OBRA DE LA EMPRESA	30
3.1.1	Flujograma de proceso	31
3.1.2	Evaluación del proceso.....	35
3.1.3	Diagnóstico del proceso	42
3.2	REESTRUCTURACIÓN DEL PROCESO EMPLEANDO POWER BI	44
3.2.1	Definición de indicadores de desempeño – KPIs y métricas a emplear.....	51
3.2.2	Definición de las bases de datos y estructuración de la información a emplear.....	57
3.3	IMPLEMENTACIÓN DE POWER BI EN EL PROCESO DE MONITOREO Y CONTROL DE OBRA.....	62
3.3.1	Integración y procesamiento de la información (Backend)	63
3.3.2	Diseño del tablero de control (Frontend).....	67
3.3.3	Evaluación del proceso automatizado	71
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS		75
4.1	COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS.....	75
4.2	CONCLUSIONES	90
4.3	APORTES AL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN	91
4.4	RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA.....		94

TABLA DE ILUSTRACIONES

Imagen 1: Índice de digitalización y productividad según la actividad económica	2
Imagen 2: Porcentaje de empresas que implementaron cada tecnología	4
Imagen 3: Ciclo de vida de un proyecto (Project Management Institute, 2017).....	16
Imagen 4: Metodología del valor ganado(Project Management Institute, 2017).....	17
Imagen 5: Ejemplo de Dashboard de control de proyectos	20
Imagen 6: Elaboración de un flujograma.....	31
Imagen 7: Símbolos de procedimientos empleados en el flujograma del proceso.....	31
Imagen 8: Softwares empleados en el proceso de monitoreo y control de obra	32
Imagen 9: Estructura organizacional para proyectos de alta complejidad	33
Imagen 10: Diagrama de flujo del proceso de monitoreo y control de obra de Anfer Ingeniería S.A.S.....	34
Imagen 11: Costos por subproceso	39
Imagen 12: Costos por procedimiento	39
Imagen 13: Duración por subproceso	39
Imagen 14: Duración por procedimiento	39
Imagen 15: Subproceso 1 – Obtención de la información del Valor Planeado.....	44
Imagen 16: Subproceso 2 – Obtención de la información del Valor Ganado.....	45
Imagen 17: Subproceso 3 – Obtención de la información del Costo Real operativo o Directo (CD).....	46
Imagen 18: Subproceso 4 – Obtención de la información del PAC y CNC	48
Imagen 19: Subproceso 5 – Obtención de la información del Costo Real administrativo o indirecto (CI) y estimación del Costo Real.....	49
Imagen 20: Subproceso 6 – Estimación de KPIs y generación del informe gerencial.....	50
Imagen 21: Curva de Valor Ganado	56

Imagen 22: Visualización de análisis de Pareto por tipo de costo (operativo o administrativo)	57
Imagen 23: Formato de ingreso de información relacionada con el Valor Ganado (EV)	58
Imagen 24: Generación del reporte de Valor Planeado (PV) desde Microsoft Project	59
Imagen 25: Registro de gastos vinculados al proyecto en el software Control y exportación de las bases de datos de Costos Reales (AC)	60
Imagen 26: Formato de programación semanal de actividades, evaluación del PAC y CNC (LPS)	62
Imagen 27: Proceso de Extracción, Transformación y Carga de los datos importados desde Google sheets para el procesamiento de la información empleando la EVM y el LPS	65
Imagen 28: Algunos DAX generados para la creación de medidas y estimación de KPIs	66
Imagen 29: Modelo de datos generado en Power BI	67
Imagen 30: Flujo de trabajo diseñado para el proceso de monitoreo y control de obra empleando Power BI integrado con el EVM y el LPS	70
Imagen 31: Visualización de los tableros en los diferentes dispositivos	71
Imagen 32: Costos por subproceso	72
Imagen 33: Costos por procedimiento	72
Imagen 34: Duración por subproceso	73
Imagen 35: Duración por procedimiento	73
Imagen 36: Comparación costos por subproceso	88
Imagen 37: Comparación costos por procedimiento	88
Imagen 38: Comparación duración por subproceso	88
Imagen 39: Comparación duración por procedimiento	88

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Análisis del estado del arte	27
Tabla 2: Resumen de la evaluación del flujograma del proceso de monitoreo y control de obra	36
Tabla 3: Costos de recursos humanos según valores promedio de nómina de la empresa	37
Tabla 4: Costos de software, licencias y suscripciones	37
Tabla 5: Costos de equipos de hardware	37
Tabla 6: Resumen duración actual de los procedimientos y subprocesos de monitoreo y control de obras	38
Tabla 7: Resumen de costo de recurso humano (RH) y Tecnologías de la Información (TI) por procedimiento y subproceso de monitoreo y control de obras actuales	38
Tabla 8: Problemas identificados y oportunidades de mejora	44
Tabla 9: Listado de KPIs a evaluar con EVM (Project Management Institute, 2017).....	54
Tabla 10: Listado de KPIs a evaluar con LPS (Ballard, 2000)(Rosero Vergara, 2022)	54
Tabla 11: Causas de No Cumplimiento definidas para proyectos de la empresa Anfer Ingeniería S.A.S. (Rosero Vergara, 2022).....	55
Tabla 12: Evaluación del IDP según los valores de los indicadores de EVM y LPS (Rosero Vergara, 2022).....	55
Tabla 13: Resumen duración de los procedimientos y subprocesos de monitoreo y control de obras implementando Power BI	72
Tabla 14: Resumen costos de recursos humanos y TI de los procedimientos y subprocesos de monitoreo y control de obras implementando Power BI	72
Tabla 15: Subproceso de generación del valor planeado en el proceso de monitoreo y control de obra actual	76
Tabla 16: Subproceso de generación del valor planeado en el proceso de monitoreo y control de obra con Power BI	76

Tabla 17: Subproceso de generación del valor ganado en el proceso de monitoreo y control de obra actual	78
Tabla 18: Subproceso de generación del valor ganado en el proceso de monitoreo y control de obra con Power BI.....	79
Tabla 19: Subproceso de generación del costo real directo en el proceso de monitoreo y control de obra actual	81
Tabla 20: Subproceso de generación del costo real directo en el proceso de monitoreo y control de obra con Power BI	81
Tabla 21: Subproceso de generación del PAC y CNC de la herramienta LPS en el proceso de monitoreo y control de obra actual	83
Tabla 22: Subproceso de generación del PAC y CNC de la herramienta LPS en el proceso de monitoreo y control de obra con Power BI.....	84
Tabla 23: Subproceso de generación del costo real indirecto y la consolidación de las métricas obtenidas para la implementación del EVM y evaluación del LPS en el proceso actual.....	86
Tabla 24: Subproceso de generación del costo real indirecto y la consolidación de las métricas obtenidas para la implementación del EVM y evaluación del LPS con Power BI	86
Tabla 25: Consolidación de los resultados obtenidos en cada procedimiento y subproceso del monitoreo y control de obra antes y después de la implementación de herramientas de análisis de datos y visualización interactiva.....	88

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

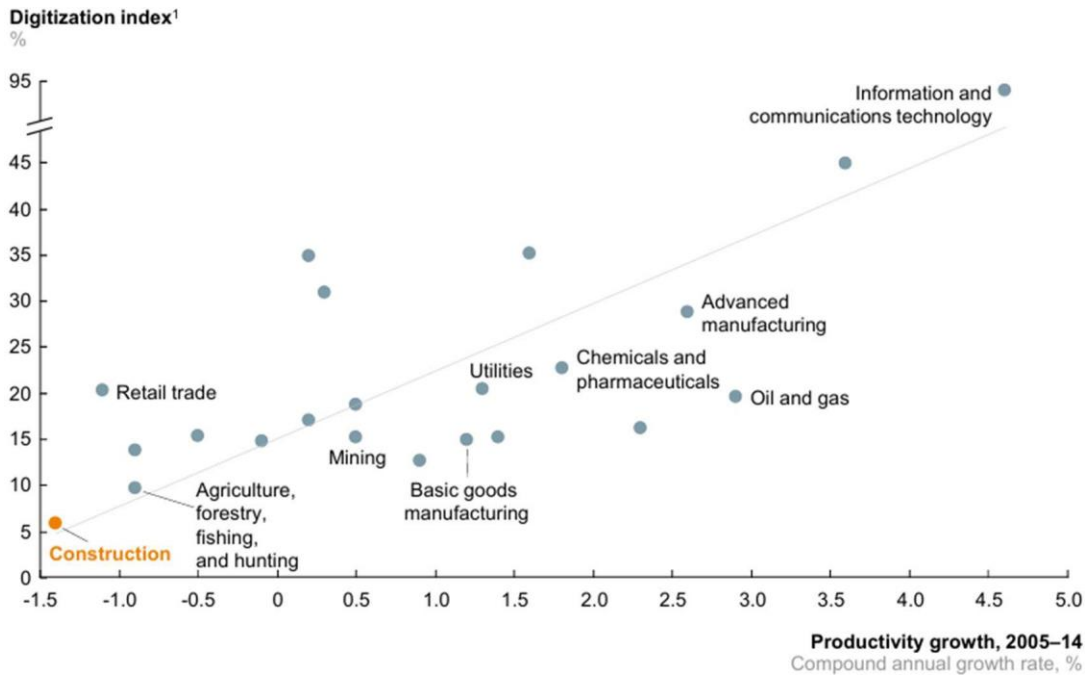
En la gestión de proyectos de construcción, el proceso de seguimiento y control constituye una función crítica dentro del ciclo de vida del proyecto, ya que garantiza la ejecución de las obras conforme a los parámetros previamente definidos de tiempo, costo y alcance. Para tal fin, es necesario establecer, calcular y evaluar indicadores de gestión que reflejen, de manera objetiva, el estado del proyecto en relación con las metas planificadas.

Estos indicadores facilitan el análisis sistemático de variables clave como el avance físico, la eficiencia en el uso de los recursos, la rentabilidad, la calidad del producto final, entre otros, lo que permite tomar decisiones preventivas o correctivas oportunamente. Por ejemplo, métricas como el porcentaje de avance, el Índice de Desempeño de Costos (CPI, por sus siglas en inglés) o el Índice de Desempeño de Cronograma (SPI) permiten medir, respectivamente, el grado de cumplimiento en la programación, la eficiencia en la gestión de los costos y la relación entre los valores ejecutados versus los planeados. Estos indicadores, ampliamente utilizados en la metodología del Valor Ganado (EVM), constituyen una base cuantitativa robusta para la gestión del desempeño en proyectos de construcción.

El monitoreo y control mediante indicadores no solo proporciona visibilidad sobre la situación actual del proyecto, sino que también permite proyectar tendencias, evaluar riesgos y generar alertas tempranas, contribuyendo a la sostenibilidad y éxito integral de las obras. Ahora bien, para estimar estos valores, se requiere de la consolidación y procesamiento periódico de diferentes datos de la obra, según el indicador que se pretenda evaluar y monitorear, de manera que pueda ser estimado y presentado de forma práctica y oportuna a la dirección o gerencia del proyecto. Por lo anterior, es necesario que el procesamiento de los datos sea eficiente y preciso que permita su interpretación.

Sin embargo, a pesar de que en la actualidad se dispone de herramientas tecnológicas avanzadas que permiten agilizar este proceso, existe una brecha en su implementación en empresas de construcción en Colombia ya que el 66% de estas no cuentan con un recurso dedicado a los asuntos de información, comunicación y tecnología debido a que según su percepción no se requiere (Gómez Gaviria, 2020).

Imagen 1: Índice de digitalización y productividad según la actividad económica



Nota: Fuente McKinsey & Company (2017)

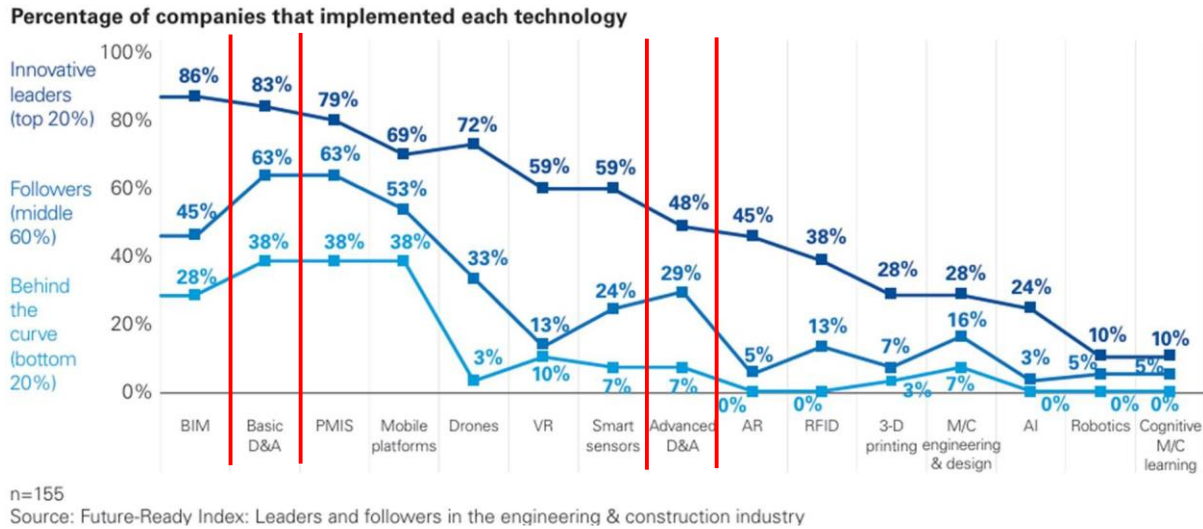
Por otra parte, la baja digitalización en el sector de la construcción, en comparación con otras industrias, ha sido un factor determinante en la caída sostenida de su productividad. Como se observa en la gráfica, la industria de la construcción presenta el índice de digitalización más bajo, con menos del 10 %, y al mismo tiempo muestra un crecimiento negativo de la productividad entre 2005 y 2014. Esta situación contrasta marcadamente con sectores como el de tecnología de la información y comunicaciones, que combinan altos niveles de digitalización (superiores al 45 %) con un sólido crecimiento de productividad (cercano al 5 % anual).

El rezago digital de la construcción se traduce en procesos manuales, fragmentados y con escasa interoperabilidad entre sistemas, lo que limita significativamente la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta frente a desviaciones en los objetivos. Comprender estas causas estructurales permite dimensionar la urgencia de implementar tecnologías emergentes en el sector, tales como la captura digital de datos en campo, el uso de plataformas colaborativas en ambiente común de datos, AR/VR (Realidad virtual y aumentada) y metodologías como Building Information Modeling (BIM) o Virtual Design and Construction (VDC), que promueven la integración de datos a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Aumentar el nivel de digitalización no solo es una oportunidad para mejorar la productividad, sino una condición necesaria para modernizar el sector y cerrar la brecha frente a otras industrias más avanzadas tecnológicamente.

Asimismo, el Future-Ready Index (Índice de Preparación para el Futuro), elaborado por KPMG International en 2019 (Imagen 2) a partir de una encuesta global aplicada a la industria de la construcción, revela una profunda brecha tecnológica entre las empresas del sector. Este índice clasifica a las organizaciones en tres categorías según su nivel de preparación para enfrentar un entorno altamente competitivo y disruptivo: líderes innovadores (20% superior), seguidores (60% intermedio) y rezagados (20% inferior).

De acuerdo con los datos presentados, solo el 38% de las empresas rezagadas han implementado capacidades básicas de análisis de datos (Basic D&A), lo cual evidencia un atraso significativo en herramientas que podrían mejorar la eficiencia, trazabilidad y control de los proyectos. Por su parte, aunque los líderes innovadores presentan una adopción mucho más robusta —con cifras cercanas al 83% en análisis básico de datos—, resulta llamativo que menos del 50% de estas empresas utilicen análisis de datos avanzados (Advanced D&A). Este hecho sugiere que, si bien existen avances importantes, incluso las organizaciones más destacadas aún están lejos de alcanzar una transformación digital profunda.

Imagen 2: Porcentaje de empresas que implementaron cada tecnología



Nota: Encuesta de KPMG International (2019)

Herramientas como tableros de información interactiva o dashboard empleados para el procesamiento y visualización de datos se utilizan de manera limitada debido a factores como el costo de la inversión de esta transformación digital, la falta de capacitación del personal en el manejo de nuevas tecnologías, su resistencia al cambio y la percepción de complejidad en la integración con los programas y procesos actuales de la organización (Tito Moscoso, 2023; Tubilla Espinoza & Segura Rodriguez, 2021; Elías Zuloeta et al., 2019). Esta falta de adopción generalizada limita el aprovechamiento del potencial de automatización, integración de datos en tiempo real y toma de decisiones predictivas, que son claves para enfrentar los retos actuales en términos de productividad, sostenibilidad y competitividad.

Esta investigación busca cerrar esta brecha mediante la implementación de herramientas de análisis de datos y visualización interactiva como Power BI integrada a la metodología del valor ganado (EVM) establecida en la guía de fundamentos para la dirección de proyectos (PMBOK, sexta edición). Todo esto adaptado a las necesidades específicas de la empresa de construcción colombiana Anfer Ingeniería S.A.S. para su proceso de seguimiento y control de obra, ofreciendo un estudio de caso que servirá de referencia para futuras implementaciones en el sector y en el país, además de brindarle un valor agregado a la compañía y a sus proyectos.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, las empresas del sector de la construcción enfrentan desafíos al tratar de implementar metodologías de gestión de proyectos y herramientas tecnológicas para mejorar la eficiencia en los procesos generados durante cada una de las etapas del ciclo de vida de sus proyectos (Alaloul et al., 2020), que le ayuden a crear valor agregado a sus obras a la vez de mantenerse competitivo y actualizado en el medio de la construcción.

La causa de estos inconvenientes obedece en parte a que las empresas consideran que requieren de una gran inversión en software y herramientas especializadas para la automatización de sus procesos, así como el entrenamiento y capacitación que requiere el personal lo que se traduce en contratar consultores o expertos externos (Saka et al., 2019). Lo anterior, asociado al limitado recurso humano y financiero de la mayoría de las empresas dedicadas a la construcción, hacen que estas destinen sus gastos hacia otros aspectos operativos que consideran más relevantes (Cao et al., 2024).

Por otra parte, se encuentra la resistencia al cambio, ya que la cultura organizacional de las empresas arraigadas a procesos o métodos tradicionales de trabajo dificulta la transición por desconocimiento de los beneficios de la implementación de nuevas metodologías o tecnologías y su aporte a la mejora de los procesos en la ejecución de sus proyectos (Sargent et al., 2012).

También, la percepción de incompatibilidad con obras pequeñas hace que las empresas consideren que estas metodologías o el uso de tecnologías sean más adecuadas para grandes proyectos o compañías y no perciben la aplicabilidad o el beneficio que esto puede lograr en obras más pequeñas o simples (Gledson & Greenwood, 2017).

Además, la transigencia de los gerentes de proyectos en la adopción de nuevas metodologías o herramientas tecnológicas para agilizar sus procesos (Tubilla Espinoza & Segura Rodríguez, 2021), así como la percepción errónea de que la competencia no emplea estas filosofías, hace que las empresas no sientan presión o aspiración por actualizarse para mantenerse competitivas.

Finalmente, las compañías no perciben el retorno de su inversión a corto plazo lo que aumenta las barreras prácticas y psicológicas que impiden la adopción de estas mejoras para sus organizaciones. Es por esto por lo que la falta de recursos financieros y tecnológicos limita su capacidad para monitorear y controlar los proyectos, esto sumado al desconocimiento de nuevas metodologías impide la optimización del proceso lo que conlleva a sobrecostos y atrasos en la construcción que conducen a desviaciones en los cronogramas de obra y presupuestos estimados.

Muchas empresas constructoras en Colombia aún utilizan métodos tradicionales para el seguimiento y control de obra, basados principalmente en hojas de cálculo no estructuradas y en informes elaborados manualmente mediante procesadores de texto. Estos formatos requieren la digitación individual de datos y carecen de integración con otros procesos o software utilizados por la compañía. Como resultado, la información sobre el estado del proyecto no se presenta de manera oportuna ni clara a los gerentes o directores, lo que dificulta la implementación de acciones correctivas o preventivas oportunas. Esta falta de visualización en tiempo real impide anticiparse o reaccionar de forma efectiva ante desviaciones en costos, avances físicos u otros aspectos críticos del desarrollo de la obra.

El problema que aborda esta investigación consiste en optimizar el proceso de monitoreo y control de obra de la empresa de construcción caleña Anfer Ingeniería S.A.S. que, al igual que otras compañías del país, utiliza métodos fragmentados y poco integrados para gestionar la información de sus proyectos. Esta situación genera una brecha significativa entre el tiempo de organización y análisis de los datos y su presentación oportuna y comprensible a los gerentes de proyecto lo que limita la capacidad de interpretar la información de forma eficaz y actuar en consecuencia. Es por esto por lo que se propone agilizar este proceso implementando herramientas

tecnológicas para el análisis de datos y visualización interactiva que centralicen y simplifiquen la información evitando sobrecostos, retrasos y dificultades para identificar riesgos o problemas a tiempo, conociendo oportunamente el estado del proyecto.

Sin embargo, la implementación de herramientas tecnológicas de análisis de datos por sí sola no es suficiente para garantizar un proceso de monitoreo y control de obra verdaderamente eficiente, es igualmente indispensable definir métricas clave de desempeño (KPI) que permitan establecer, a través de indicadores cuantificables el estado real del proyecto (Lamprey & Fayek, 2012). Estos indicadores no solo facilitan el seguimiento riguroso del cumplimiento de metas y objetivos, sino que también contribuyen a estandarizar y formalizar el proceso de monitoreo mediante criterios reconocidos de medición. En el caso de estudio, los KPIs se estructuran a partir de la metodología del Valor Ganado (EVM), una técnica de gestión de proyectos que permite evaluar la ejecución del cronograma y del presupuesto de manera integrada (Project Management Institute, 2017). Dicha metodología emplea indicadores como el Valor Planeado (PV), el Valor Ganado (EV) y el Costo Real (AC), entre otros índices de productividad relacionados con el trabajo ejecutado, los recursos utilizados y los valores presupuestados, proporcionando así una visión más precisa y objetiva del desempeño del proyecto.

1.2.2 Alcance

El alcance de esta investigación se limita en desarrollar e implementar un proceso de monitoreo y control de proyectos de construcción para la empresa Anfer Ingeniería S.A.S. utilizando herramientas de Business Intelligence como Power BI y la metodología del valor ganado (EVM) para la gestión de indicadores de desempeño (KPIs).

Este proceso en particular de la empresa se tecnificará mediante la implementación de dashboards personalizados, enfocados en consolidar, analizar y presentar en tiempo real la información consignada proveniente de los cortes de obra, lo que permite tomar decisiones oportunas que eviten o prevengan atrasos o sobrecostos en las obras controlando desviaciones en el presupuesto o cronograma del proyecto.

Para identificar las mejoras con respecto al proceso actual, se realizará un diagnóstico al flujo de trabajo que desarrolla la empresa durante el monitoreo y control de sus obras, evaluando aspectos como duración del proceso y recursos empleados. Luego, este se reestructura integrando herramientas tecnológicas con la metodología del valor ganado, se implementa y evalúa su eficiencia con los mismos parámetros que el inicial identificando las mejoras con respecto al proceso anterior. Para delimitar el alcance, se contemplan los siguientes aspectos clave:

1. Desarrollo de un panel de gestión de datos (Dashboard) para la visualización de indicadores clave de desempeño (Key Performance Indicator - KPI) basado en herramientas de Business Intelligence (BI):

- o Se diseñará un dashboard utilizando la herramienta de Microsoft Power BI con el objetivo de facilitar una interacción ágil con los datos y proporcionar una visualización clara y accesible de la información analizada mediante KPIs que reflejen el estado financiero, el avance del proyecto y otros aspectos relevantes del proyecto.

2. Aplicación de la Metodología del Valor Ganado (Earned Value Management – EVM):

- o Se empleará la EVM para establecer los KPIs a evaluar. Estas métricas permitirán monitorear el estado de la obra en relación con su cronograma y presupuesto base, facilitando la identificación temprana de desviaciones en tiempo, costo y alcance.

3. Definición del flujo de trabajo y recolección de datos:

- o El nuevo proceso de monitoreo abarcará la integración de datos provenientes de distintas fuentes del proyecto, incluyendo registros de obra y reportes financieros.
- o Se definirá el flujo de trabajo desde el momento en que los datos son exportados desde los programas fuente o han sido previamente organizados y estructurados, hasta su procesamiento y visualización en los dashboards. Este flujo busca asegurar que la información sea precisa, oportuna y fácilmente accesible para los responsables del proyecto.

4. **Implementación y análisis en un estudio de caso único:**

- Las pruebas al nuevo proceso se realizarán en un caso de estudio único de una obra de la empresa Anfer Ingeniería S.A.S., con el fin de evaluar la eficacia y beneficios del sistema en un entorno real.
- Este enfoque permitirá la obtención de resultados concretos sobre el impacto de la implementación de los dashboards y la EVM en la gestión de proyectos para la empresa.

Limitaciones del alcance:

- El trabajo se restringe a la implementación de herramientas tecnológicas como Power BI sin abarcar la evaluación de otros sistemas de Business Intelligence.
- La evaluación se circunscribirá al caso de estudio único en la empresa Anfer Ingeniería S.A.S., por lo que las conclusiones estarán contextualizadas en el proceso específico de esta organización.
- Los resultados obtenidos no pretenden ser generalizables a todo el sector de la construcción; sin embargo, pueden ser extrapolables a contextos similares bajo condiciones comparables, especialmente en empresas con estructuras de seguimiento y control tradicionales que busquen tecnificar sus procesos mediante herramientas de visualización y análisis de datos.
- Esta investigación no aborda la automatización de la captura de datos en campo ni la integración de metodologías avanzadas como BIM 4D o 5D, limitándose a trabajar con información previamente estructurada o depurada para fines de análisis y visualización.

Este alcance garantizará una implementación práctica y medible que servirá como modelo para potenciales escalamientos en la empresa y podrá adaptarse en futuros proyectos o incluso en otras empresas.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El monitoreo y control de una obra es fundamental para garantizar que esta cumpla con el alcance proyectado en el tiempo programado y con el presupuesto asignado. Llevar a cabo este proceso se convierte en una ardua tarea que requiere de la recopilación y análisis de información periódica que se genera en el lugar de la obra y en dependencias contables o financieras fuera de esta, la cual debe ser consolidada, procesada y presentada de manera oportuna a los directores de obra o gerentes de proyecto para su análisis e implementación de acciones correctivas o preventivas basadas en los indicadores de gestión calculados con estos datos. Por ello, se hace necesario implementar herramientas tecnológicas que optimicen los procesos de análisis y visualización de la información, facilitando una interacción ágil con los datos y permitiendo una evaluación oportuna del estado del proyecto para actuar de manera estratégica frente a posibles desviaciones.

En este trabajo se propone optimizar el proceso de monitoreo y control de obras que actualmente utiliza la empresa Anfer Ingeniería S.A.S. mediante la tecnificación de su flujo de trabajo a través de la implementación de herramientas de análisis de datos y visualización interactiva como Power BI. Esta estrategia permitirá el diseño de paneles de control (dashboard) orientados al análisis y presentación de indicadores de gestión (KPI) definidos a partir de la metodología de valor ganado (EVM).

El propósito principal de este estudio de caso es proporcionar a la empresa una herramienta interactiva que fortalezca el proceso de monitoreo de sus obras, facilitando la interpretación de indicadores clave a través de una visualización centralizada y accesible. Esta solución busca ofrecer una plataforma común para la consulta de datos relevantes del proyecto, promoviendo la colaboración efectiva entre los actores involucrados y apoyando la gestión informada del desempeño de la obra.

Esto permitirá superar las limitaciones inherentes de los métodos tradicionales y fragmentados actualmente empleados por las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Mipymes) en el sector de la construcción en Colombia, en un contexto donde la competitividad exige una gestión de proyectos altamente eficiente y adaptativa. La ausencia de herramientas tecnológicas para el análisis y visualización de datos restringe la capacidad de la empresa para responder con rapidez a cambios imprevistos, identificar riesgos a tiempo y optimizar los recursos financieros y humanos. Además, una de las metas clave de esta propuesta es reducir la latencia en la toma de decisiones, entendida como el tiempo que transcurre entre la generación de un dato relevante y su interpretación para la acción, lo cual es fundamental para mejorar la capacidad de respuesta del equipo de trabajo ante desviaciones o contingencias.

Actualmente, la empresa Anfer Ingeniería S.A.S. enfrenta dificultades para consolidar y analizar la información en tiempo real, lo que obstaculiza la ejecución de acciones estratégicas basadas en datos actualizados y limita su capacidad de reacción ante desvíos en el cronograma de obra o el presupuesto. Esta situación se agrava por la alta latencia en el procesamiento y acceso a la información, lo que retrasa la identificación de problemas y la formulación de respuesta efectivas. La implementación de herramientas como Power BI, integradas con la metodología del valor ganado (EVM), permitirá transformar el flujo de trabajo de la empresa al establecer un proceso centralizado de visualización de KPIs en tiempo real, reduciendo dicha latencia, y facilitando una gestión proactiva orientada a la prevención de problemas en lugar de su corrección.

Este trabajo además de mejorar la competitividad de una empresa de construcción colombiana contribuye a una transformación en la manera en que las constructoras del país gestionan sus proyectos, reafirmando que es posible integrar metodologías modernas de gestión de proyectos con herramientas accesibles de análisis de datos. Al demostrar la viabilidad y los beneficios de la digitalización del proceso de monitoreo y control, Anfer Ingeniería S.A.S. podrá servir de modelo para otras empresas de tamaño similar en Colombia, ayudando a reducir las barreras percibidas en la adopción de tecnología y motivando a otras organizaciones a modernizar sus procesos de seguimiento de obras.

Desde una perspectiva más amplia, este trabajo contribuirá al campo de la gestión de proyectos al integrar herramientas tecnológicas avanzadas con metodologías contemporáneas como la del valor ganado (EVM). Este enfoque no solo permite una mayor precisión en el seguimiento del desempeño de las obras, sino que también alinea a la empresa con las tendencias globales en gerencia de proyectos como la digitalización 4.0, la filosofía Lean Construction y la adopción de entornos BIM. Esto favorece la estandarización de procesos, la trazabilidad de la información y la transparencia en la gestión, lo cual facilita en el futuro la obtención de certificaciones internacionales, mejorar la reputación organizacional y fortalecer su posicionamiento competitivo en el sector.

Además, la adopción de herramientas tecnológicas en la gestión de proyectos contribuirá significativamente a la optimización de los procesos a lo largo de su ciclo de vida en el sector de la construcción en Colombia, promoviendo la integración de tecnologías que permitan ejecutar obras de manera más eficiente, sostenible y competitiva. En un entorno global donde la construcción se enfrenta a crecientes exigencias en términos de productividad y sostenibilidad, la incorporación de soluciones tecnológicas como la planteada en este estudio constituyen un avance estratégico hacia la transformación digital de las empresas constructoras y la consolidación de metodologías de gestión de proyectos más robustas y alineadas a estándares internacionales.

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

A continuación, se describen los objetivos que se pretenden desarrollar con el presente trabajo de investigación:

1.4.1 Objetivo general

Implementar herramientas tecnológicas de análisis de datos y visualización interactiva integradas a la metodología del valor ganado para mejorar el proceso de monitoreo y control de obra de la empresa Anfer Ingeniería S.A.S.

1.4.2 Objetivos específicos

El objetivo general se pretende alcanzar cuando se desarrollen los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la eficiencia del proceso actual de monitoreo y control de obra de la empresa.
- Diseñar el flujo de trabajo del proceso de monitoreo y control de obra empleando herramientas tecnológicas de análisis de datos y visualización interactiva integradas a la metodología del valor ganado.
- Comparar los resultados de los procesos evaluados e identificar las mejoras.

1.4.3 Resultados esperados

Con el desarrollo de esta investigación se espera obtener los siguientes resultados para la empresa Anfer Ingeniería S.A.S.:

1. Un diagnóstico del estado actual del proceso de monitoreo y control de obra de la compañía, identificando debilidades, limitaciones y oportunidades de mejora, especialmente en términos de agilidad en el procesamiento de la información, presentación de los datos y uso de recursos. Este análisis establece una línea base para comparar los beneficios con el modelo propuesto.
2. Un rediseño del flujo de trabajo del proceso de seguimiento y control de obra que incorpore herramientas tecnológicas integradas a la metodología del valor ganado, con el fin de automatizar el análisis de datos y facilitar la visualización interactiva de indicadores de gestión en tiempo real.
3. Un proceso de monitoreo y control de obra más ágil y eficiente, en el que se reduzca la latencia entre la obtención de datos y su análisis, disminuyendo el tiempo de procesamiento y presentación de la información, así como los recursos empleados, lo que permitirá conocer oportuna y periódicamente el estado de los proyectos en ejecución.

Además de estos beneficios operativos, la implementación de herramientas de Business Intelligence en los procesos internos marca el inicio de la transformación digital de la empresa, generando valor agregado a sus proyectos y permitiéndole mantenerse competitiva en un sector

cada vez más exigente. Cabe destacar que el modelo desarrollado en este estudio podrá servir como referencia para otras empresas del sector —especialmente aquellas con bajo nivel de digitalización— que busquen estructurar y optimizar sus procesos de monitoreo y control mediante soluciones replicables, escalables y adaptables a sus propias condiciones organizacionales y tecnológicas.

Por último, cabe resaltar que, en el caso de las micro, pequeñas y medianas empresas (Mipymes), las cuales representan aproximadamente el 90% de las compañías en el mundo (Organización de las Naciones Unidas, 2024), la mayoría no cuentan con programas de planificación de recursos empresariales - ERP (Enterprise Resource Planning), lo que representa una barrera para su transformación digital e impide agilizar sus procesos de gestión o en el caso de empresas constructoras, el monitoreo y control de obras. Es este sentido, uno de los principales aportes de este estudio es el desarrollo de un modelo replicable y adaptable, diseñado con parámetros flexibles que permite su implementación en organizaciones de distintos tamaños, tipos de proyecto y flujos de trabajo que pueden ser adaptados por cualquier compañía del sector sin requerir modificaciones profundas en sus procesos actuales, posicionando este documento como una guía práctica de implementación para Mipymes del medio de la construcción interesadas en avanzar hacia la digitalización de la gestión de sus proyectos.

CAPÍTULO 2: MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual de esta investigación se fundamenta en las buenas prácticas de gestión de proyectos definidas en el Project Management Body of Knowledge (PMBOK) y ampliamente adoptadas a nivel global. Cabe destacar que el PMBOK no constituye una metodología sino un compendio de estándares, lineamientos y prácticas recomendadas que pueden adaptarse según las características específicas de cada proyecto o entorno organizacional. A partir de esta base, se incorporan metodologías específicas de monitoreo y control de obras como el EVM, reconocida por su capacidad para integrar el desempeño en costo, cronograma y alcance del proyecto.

Adicionalmente, se integran conceptos y herramientas de Business Intelligence (BI) que permiten transformar grandes volúmenes de datos operativos en información útil y presentarlas mediante visualizaciones dinámicas e interactivas. La interacción de estos elementos permite una gestión proactiva y ágil de los proyectos, facilitando la identificación temprana de desviaciones que se presenten en los costos y tiempos de obra respecto a lo estimado y programado, optimizando los recursos y reduciendo riesgos.

2.1.1 Gestión de proyectos de construcción

La gestión de proyectos de construcción implica la planificación, organización, ejecución, monitoreo y control de todos los recursos y actividades necesarias para completar un proyecto dentro del alcance, tiempo y presupuesto definidos. Esta investigación se centra en la etapa de monitoreo y control, dado que es aquí donde las herramientas de análisis de datos y la visualización de indicadores de desempeño juegan un papel crucial para garantizar la eficiencia y el éxito del proyecto.

- **PMI y PMBOK:** El enfoque adoptado se alinea con las pautas establecidas por el Project Management Institute (PMI) y su guía PMBOK (Project Management Body of Knowledge), que describe la gestión de proyectos como un conjunto de procesos agrupados en áreas de conocimiento, tales como alcance, cronograma, costos, recursos,

comunicaciones, riesgos, adquisiciones, entre otros (Project Management Institute, 2017). No obstante, esta investigación se limita intencionalmente al análisis de dos de estas áreas: el control de costos y cronograma, por tratarse de los aspectos más críticos y representativos en la fase de ejecución de proyectos de obra civil. La exclusión de áreas como calidad, riesgos o adquisiciones responde a una delimitación consciente del alcance del estudio, en función de su viabilidad técnica, los recursos disponibles y la relevancia estratégica de los indicadores seleccionados para la empresa objeto de estudio. Además, se debe considerar que la metodología del Valor Ganado (EVM), pilar central de esta investigación, está diseñada específicamente para generar indicadores de desempeño y pronóstico asociados a los costos y al cronograma del proyecto, lo que limita su aplicabilidad directa a otras áreas de conocimiento del PMBOK. Por lo tanto, su adopción en este estudio está orientada a maximizar su potencial analítico y operativo en las dimensiones donde ofrece mayor valor agregado.

- **Monitoreo y control de obra:** El PMI en su guía PMBOK sexta edición, define este concepto como una etapa del ciclo de vida del proyecto en el que se analiza, regula el progreso y el desempeño de la obra, para identificar áreas en las que la planeación o estrategias requieran ajustarse y realizar los cambios correspondientes que permitan el cumplimiento de las metas.

Imagen 3: Ciclo de vida de un proyecto (Project Management Institute, 2017)



Nota: Adaptación a imagen tomada del PMBOK 6ta edición

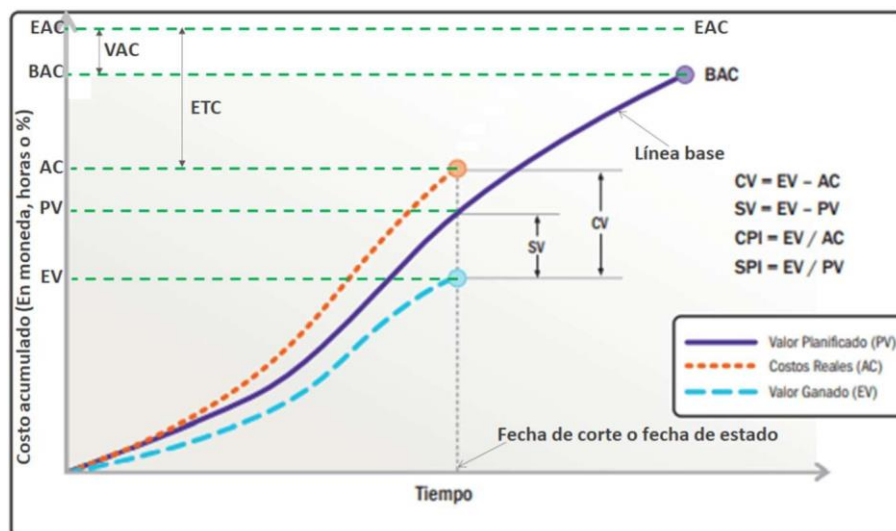
2.1.2 Gestión del Valor Ganado (Earned Value Management – EVM)

La metodología del valor ganado es una técnica de gestión de proyectos que permite medir el rendimiento y el progreso de una obra en términos de tiempo y costo, basándose en la comparación de tres variables principales:

1. **Valor Planeado** (Planned Value – PV): Presupuesto autorizado que ha sido asignado al trabajo planificado.
2. **Costo Real** (Actual Cost – AC): Costo real incurrido por el trabajo llevado a cabo en una actividad durante un período de tiempo específico.
3. **Valor Ganado** (Earned Value – EV): Cantidad de trabajo ejecutado a la fecha, expresado en términos del presupuesto autorizado para ese trabajo.

Con estas variables se pueden estimar indicadores clave de desempeño para el monitoreo y control del proyecto, como la variación del costo (CV) y la variación del cronograma (SV), entre otros índices de productividad asociados al trabajo realizado que permiten evaluar si el proyecto se mantiene dentro de los límites presupuestales y tiempo establecido.

Imagen 4: Metodología del valor ganado (Project Management Institute, 2017)



Nota: Adaptación a imagen tomada del PMBOK 7ma edición

2.1.3 Indicadores Clave de Desempeño (Key Performance Indicators – KPIs)

Los KPIs son métricas esenciales que permiten evaluar el éxito del proyecto en función de sus objetivos. Estos se determinan con base en las metas que se pretendan evaluar, que para el caso de estudio y la metodología a emplear (EVM), se establecen en términos del costo y el cronograma de obra, siendo estos el Índice de Desempeño de Costo (Cost Performance Index – CPI) y el Índice de Desempeño de Cronograma (Schedule Performance Index – SPI), entre otros a calcular. La correcta implementación y monitoreo de KPIs mediante herramientas de Business Intelligence permite detectar desviaciones de las metas establecidas en tiempo real, facilitando así la toma de decisiones informadas y oportunas que garanticen una ejecución eficiente sin atrasos ni sobrecostos.

2.1.4 Inteligencia de Negocios (Business Intelligence – BI)

BI es un conjunto de herramientas y métodos para almacenar y procesar datos de diferentes actividades u operaciones de proyectos o negocios para optimizar su rendimiento. Esta información se analiza para generar una vista integral del estado de la compañía o del proceso evaluado lo que permite:

1. Tomar decisiones correctivas o preventivas basadas en los resultados de los datos actuales y/o históricos analizados.
2. Determinar que el proceso funciona acorde a los parámetros establecidos.
3. Validar que la actividad u operación está cumpliendo las metas u objetivos propuestos.

BI ayuda a las organizaciones a generar conclusiones informadas a partir del análisis de datos que permiten percibir tendencias, desviaciones, irregularidades, pérdidas o excesos que se presenten en los procesos, actividades, negocios, proyectos, metas u objetivos establecidos, es por esto por lo que se convierte en una práctica fundamental para impulsar el cambio, eliminar desperdicios y detectar ineficiencias en las empresas o procesos, entre otros beneficios.

- **Power BI Desktop:** Es una herramienta de BI gratuita desarrollada por Microsoft para el análisis de datos y visualización interactiva, que permite conectar, transformar y presentar

información de manera dinámica mediante dashboards, gráficos y reportes automatizados. Se utiliza para analizar grandes volúmenes de datos y facilitar la toma de decisiones basada en información actualizada en tiempo real. Esta será la herramienta que se empleará para el desarrollo de esta investigación.

- **Data Analysis Expressions – DAX:** Es un lenguaje nativo de fórmulas y consultas utilizado en Power BI, Power Pivot para Excel y Analysis Services de Microsoft. Está diseñado para trabajar con datos en modelos tabulares y permite crear medidas, columnas y tablas calculadas, filtros avanzados, entre otros, transformando la información según las necesidades requeridas para su análisis y visualización.

2.1.5 Panel de control

También conocido como dashboard, es una herramienta visual que permite presentar información relevante de manera concisa, clara y en tiempo real. Su propósito principal es facilitar el monitoreo del rendimiento y el estado actual de un negocio, proyecto o sistema, lo que ayuda a las empresas a medir la situación y evolución de sus objetivos basado en los resultados de desempeño.

Además de servir como herramienta para controlar las desviaciones que se presenten en las mediciones establecidas para el proceso, también permite que los empleados comprendan cómo su trabajo impacta en los objetivos generales de la organización, promoviendo su compromiso y alineación con la estrategia corporativa. Para su implementación efectiva, es fundamental definir previamente las metas a monitorear, así como los indicadores esenciales de desempeño que permitirán medir el grado de cumplimiento de los objetivos establecidos.

Una correcta estructuración de estos elementos garantiza una visualización clara y una gestión eficiente de los procesos analizados.

Imagen 5: Ejemplo de Dashboard de control de proyectos



Fuente: Power Bi & Primavera P6 para el Control de Proyectos | G-INPRO

2.1.6 Arquitectura de datos

La arquitectura de datos es el diseño estructurado y estratégico de cómo se recopilan, almacenan, integran, gestionan y utilizan los datos dentro de una organización o sistema. Describe el flujo de la información desde su origen hasta su consumo y establece las políticas, los modelos y las tecnologías que permiten su gestión eficiente y segura. Esta arquitectura se compone de elementos clave como:

- 1. Fuentes de datos:** Identifica de dónde proviene la información (bases de datos, hojas de cálculo, sensores, software como ERP, Revit, M.S. Project, etc.)
- 2. Modelado de datos:** Define cómo se estructura la información (tablas, relaciones, jerarquías, dimensiones, métricas).
- 3. Almacenamiento:** Establece dónde y cómo se archiva (data warehouse, data lake, bases SQL/NoSQL, red de servidores remotos, etc.)
- 4. Procesamiento y transformación:** Incluye herramientas y flujos destinados a la limpieza, consolidación y transformación de datos, tales como Data Wrangling (manipulación de datos), Explorator y Data Analysis (EDA) y procesos de integración como ELT o ETL. Para este caso específico, se implementará un flujo ETL (Extract, Transform, Load) utilizando la herramienta Power Query de Microsoft.

5. **Gobernanza de datos:** Políticas sobre seguridad, privacidad, acceso y calidad de la información.
6. **Consumo de datos:** Cómo se accede y visualiza la información (dashboards, reportes, sistemas analíticos como Power BI, etc.)

En el caso de Anfer Ingeniería S.A.S., la arquitectura de datos se estructuró a partir de la identificación de las fuentes de información del proyecto (cronogramas, presupuestos, avances físicos y costos financieros), las cuales provienen de diferentes programas y formatos organizados en tablas, algunas de ellas no estructuradas que se almacenan en la nube asociada al correo electrónico corporativo. Posteriormente, los datos fueron integrados mediante flujos ETL desarrollados en Power Query, previa modificación de su estructura de almacenamiento y estandarización de los formatos para facilitar su transformación y análisis.

- **Frontend y backend**

Los términos **frontend** y **backend** se utilizan comúnmente en el desarrollo de software para distinguir entre las dos partes principales de un sistema o aplicación:

Frontend – *La parte visible que utiliza el usuario* –

Es la interfaz gráfica o visual con la que el usuario interactúa directamente, que para este caso de estudio se refiere al panel de control.

Backend: – *La conexión con las bases de datos y su procesamiento* –

Administra la funcionalidad general de la aplicación o sistema, el procesamiento de los datos y responde a las solicitudes del frontend. En este caso hace referencia al proceso ETL y el lenguaje de fórmulas DAX creado.

- **Interoperabilidad:** La interoperabilidad es la capacidad de las aplicaciones o sistemas (como computadoras, redes, software, etc.) para interactuar y compartir datos de manera segura, efectiva y automática utilizando un protocolo definido. Esto significa que diferentes sistemas pueden comunicarse y colaborar para alcanzar un objetivo común, sin necesidad

de que sean diseñados o implementados por la misma organización o utilizando la misma tecnología.

2.2 REVISIÓN DE LITERATURA

El monitoreo y control de obras ha evolucionado significativamente con el uso de herramientas tecnológicas, particularmente aquellas que permiten el análisis de datos y la visualización interactiva (Ur Rehman et al., 2022). Diversos estudios han abordado la aplicación de estos sistemas en la industria de la construcción (Alarcón Torres & Gutiérrez Sierra, 2023; Arias Romero, 2023; Elías Zuloeta et al., 2019; Gara et al., 2021; Lamptey & Fayek, 2012; Rioja, 2022; Romero Florez et al., 2018; Tito Moscoso, 2023; Tubilla Espinoza & Segura Rodriguez, 2021), sin embargo, persisten vacíos en el conocimiento en torno a su aplicabilidad específica en el contexto colombiano y su integración con metodologías como el Valor Ganado (EVM). Es por esto, por lo que los trabajos de grado e investigaciones científicas analizados en este apartado se clasifican según sus contribuciones y limitaciones, posicionando esta investigación dentro del panorama actual.

2.2.1 Implementación de dashboards en proyectos de construcción

Diversos estudios han demostrado que el uso de dashboards mejora la gestión de proyectos al proporcionar visualizaciones claras de indicadores clave de desempeño (Abduldaem & Gravell, 2019; Gara et al., 2021). Por ejemplo, con la implementación de un prototipo de dashboard elaborado en Google Sheets (programa de hojas de cálculo gratuito) por Romero Florez et al. (2018) para la constructora colombiana Jemur, no se establecieron indicadores clave, por el contrario, la implementación se centró en identificar sobrecostos analizando los diferentes rubros del presupuesto lo que permitió tomar decisiones correctivas oportunamente. Sin embargo, el análisis revela que la empresa aún dependía de procesos manuales para consolidar la información, lo cual limitaba la automatización y generaba latencias en la obtención de datos actualizados.

Asimismo, Alarcón Torres & Gutiérrez Sierra (2023), desarrolló un dashboard gerencial basado en Tableau (software para la visualización interactiva de datos), para las Mipymes constructoras en Colombia evaluadas, que permite hacer seguimiento a los hitos y tareas detectando si estas se cumplieron con el presupuesto asignado y en el tiempo proyectado entre otros indicadores económicos como CAPEX (Capital de trabajo / Capital expenses) y OPEX (Gastos de operación / operating expenses). Esta implementación identificó no solo la necesidad de adaptar las herramientas tecnológicas a las capacidades organizacionales de cada empresa sino también la importancia de seleccionar los indicadores con mayor relevancia para los gerentes. No obstante, la herramienta no contempló la metodología del valor ganado como base para la medición del desempeño del proyecto, lo que limita el análisis integral del avance físico y financiero.

Por otra parte, Rioja (2022) planteó el desarrollo de una herramienta de seguimiento y control de proyectos de infraestructura vial soportada en Power BI dentro de la firma de ingeniería colombiana Joyco SAS BIC. Los tableros de control utilizan modelos 2D y 3D como localización y contexto espacial del proyecto en conjunto con la información de la línea base del presupuesto y el cronograma monitoreando el valor planeado (PV) de la obra versus el valor ganado (EV), si bien no se definen indicadores de desempeño (KPIs) ni se establece la información del costo real (AC), su investigación destaca la importancia de integrar metodologías avanzadas de monitoreo y control con herramientas de inteligencia de negocios para optimizar la gestión de proyectos y resalta la importancia de que estas propuestas estén alineadas con los pilares estratégicos de la compañía, además propone extender la implementación de estas herramientas para el seguimiento de otros procesos diferentes a las obras, como por ejemplo las licitaciones. Su principal limitación del estudio fue no integrar completamente los tres componentes del valor ganado (PV, EV, AC), lo que impide calcular métricas clave como SPI y CPI entre otros indicadores de desempeño (CV) y pronóstico (EAC, ETC, VAC, TCPI) importantes para la gestión de proyectos.

Por otro lado, Tito Moscoso (2023) desarrolló un dashboard en Power BI para una empresa petrolera con el objetivo de reducir el riesgo de retraso en la programación de estudios y diseños de un proyecto en Quito, Ecuador. Su trabajo aplicó metodologías de gestión de riesgos y estableció un sistema de monitoreo visual que permitía una mejor toma de decisiones. Aunque la

investigación se centró en la mitigación del riesgo de presentar atrasos en obra, no profundizó en la integración con la metodología del valor ganado para el análisis financiero, ya que solo se definieron dos indicadores de desempeño (SPI y CPI) calculados desde Ms Project, mientras que el cronograma se gestionaba en tablas de Excel. Esto limitó el uso de Power Bi únicamente a la visualización, desaprovechando su potencial como herramienta de análisis y consolidación de datos para el seguimiento integral del desempeño del proyecto.

2.2.2 Dashboards y productividad en la construcción

Trabajos como el de Elías Zuloeta et al. (2019), evaluaron la relación entre el uso de dashboards y la productividad en proyectos de infraestructura. Aplicando un estudio cuasi-experimental longitudinal, demostraron que la implementación de dashboards permitió reducir en un 10% los costos totales de una obra en Piura, Perú. No obstante, el estudio se centró a estimar factores de rendimiento en las actividades representativas del proyecto en indicadores de productividad en las actividades representa de mano de obra, maquinaria y materiales, sin abordar métricas financieras en profundidad.

Asimismo, autores como Tubilla Espinoza & Segura Rodríguez (2021) concluyeron que la implementación de dashboard mejora la toma de decisiones y la productividad de la obra al desarrollar un panel de control en Power BI para monitorear un proyecto vial en Lima, Perú. No obstante, al igual que Elías Zuloeta et al. (2019), su estudio se enfocó principalmente en indicadores de productividad validados con factores de rendimiento aplicados a las actividades representativas del presupuesto, limitando la herramienta de Business Intelligence solo a la visualización de la información.

2.2.3 Monitoreo en tiempo real

La integración de dashboards con tecnologías de captura de datos en tiempo real ha sido explorada en estudios como el de Gara et al. (2021). Su investigación en Malasia propone un

modelo de dashboard para monitoreo de proyectos viales, destacando la reducción de retrasos y disputas contractuales mediante la digitalización del proceso de supervisión. Sin embargo, el estudio no profundiza en la aplicación de metodologías como EVM para evaluar el desempeño financiero y temporal de los proyectos ni tampoco especifica softwares para el procesamiento y visualización de la información.

2.2.4 Vacíos en el conocimiento

A pesar de los avances en la implementación de dashboards en construcción, se identifican tres áreas con oportunidades de investigación:

1. **Falta de integración con EVM:** Los estudios revisados se enfocan en indicadores de productividad, así como en evaluar riesgos en el cronograma o métricas contables, sin profundizar en indicadores de desempeño o pronósticos que brinda la metodología del valor ganado para determinar el grado de desviación del costo o la programación con respecto al objetivo que le permitan al gerente o director del proyecto tomar las decisiones preventivas o correctivas en el momento oportuno.
2. **Escasa adaptación a la industria colombiana:** Aunque existen propuestas en el país, la implementación de dashboards en constructoras en Colombia ha sido limitada debido en parte a que las empresas consideran que requieren de una gran inversión en software y herramientas especializadas para la automatización de sus procesos entre otras consideraciones como se mencionó en el planteamiento del problema.
3. **Uso de Power BI:** Aunque algunos estudios han explorado el uso de Power BI como herramienta de análisis de datos para el monitoreo y control de proyectos, los investigadores se han limitado solo en su capacidad de visualización interactiva sin profundizar en el procesamiento de la información mediante su lenguaje nativo de fórmulas DAX, ni en establecer una interoperabilidad con otros programas, restringiendo el potencial de automatización de los procesos y de una reducción efectiva de las latencias. El aprovechamiento de este lenguaje permite automatizar cálculos, reducir tiempos de digitación y optimizar la generación de métricas dentro de la misma herramienta, mejorando así su eficiencia y aplicabilidad en la gestión de proyectos.

Autor	Año País	Título	Software empleado	Métrica evaluada	Resultados identificados	Problema identificado	Limitante identificada
Romero Flórez et al.	2018 Col	Propuesta de implementación de un dashboard para el seguimiento de proyectos en la constructora Jemur	Google sheets	Rubros del presupuesto	Identificación de sobrecostos en rubros específicos	Procesos manuales para consolidar la información	Limita la automatización y genera latencias en la obtención de datos actualizados
Elias Zuloeta et al.	2019 Perú	Implementación de los dashboard para mejorar la productividad de obra: Rehabilitación de la protección del perímetro del terreno de la Universidad Nacional de Piura colindante con la margen izquierda del río Piura	Power BI (SPSS Statistics 19)	Indicadores de productividad de mano de obra, maquinaria y materiales	Verificación de mejora con la prueba T de Student	Datos recopilados de manera manual en tablas en Excel	Se generan latencias en la obtención de datos actualizados. Power BI se limita solo a visualizar la información. No hay interoperabilidad
Tubilla Espinoza & Segura Rodríguez	2021 Perú	Aplicación de dashboards para mejorar la productividad y la toma de decisiones en los proyectos de construcción (Carretera doble vía Guadalupe – Ica)	Power BI	Indicadores de productividad en las actividades representativas del presupuesto	Verificación de la mejora con el factor rendimiento.	Datos recopilados de manera manual en tablas en Excel. Dificultad en la captura de información in situ (No es ágil ni continua).	Se generan latencias en la obtención de datos actualizados. Power Bi se limita solo a visualizar la información. No hay interoperabilidad
Rioja, S.	2022 Col	Planteamiento de una herramienta de seguimiento y control de	Power BI	PV EV	Extender la implementación a otras áreas	No integrar todas las	No se pueden generar pronósticos, solo se realiza

		proyectos de construcción de infraestructura vial soportado en Power BI dentro de Joyco S.A.S. BIC	(ArcGIS Pro)		(licitaciones) y complementar con BIM	métricas de la metodología	seguimiento al avance
Alarcón Torres & Gutiérrez Sierra	2023 Col	Diseño de dashboard como herramienta de control gerencial para toma de decisiones de alto nivel en Mipymes constructoras colombianas.	Tableu (Google Forms)	Capex y Opex	La selección de los indicadores depende de la empresa y el sector donde se desempeña	Identificación de indicadores (No conocían las empresas)	Al no conocer las empresas se dificulta comprender con precisión sus prioridades estratégicas, objetivos específicos y criterios de éxito.
Tito Moscoso	2023 Ecu	Desarrollo de un dashboard mediante el uso de Power BI para disminuir el riesgo de retraso en el cronograma durante la etapa de control y monitoreo. Aplicado al proyecto: Estudios y diseños para pavimentar base de operaciones	Power BI (MS Project)	Matriz de riesgos cronológicos (MD para recopilación de posibles riesgos)	Mejora de resultados con la integración de otras metodologías (Método Delphi - MD)	Power BI utilizado solo como herramienta de consolidación de datos y visualización	No se integran las herramientas, por lo tanto, se limita la interoperabilidad (Tablas diligenciadas manualmente en Excel ajustadas de Ms Project para seguimiento)

Tabla 1: Análisis del estado del arte

En la tabla anterior, el análisis se limitó a identificar los problemas y sus limitantes en la implementación de dashboard, así como a interpretar los resultados obtenidos con base en conclusiones específicas, más allá de la mejora evidente que implica la tecnificación del proceso. El objetivo fue destacar hallazgos significativos que aportaran valor al entendimiento del problema y los vacíos del conocimiento, evitando reducir el análisis únicamente al beneficio esperado por la incorporación de herramientas tecnológicas.

2.2.5 Relevancia de esta investigación

Este estudio busca cerrar los vacíos identificados al diseñar e implementar un dashboard en Power BI para mejorar el monitoreo y control de obras en una constructora colombiana, integrando la metodología de Valor Ganado (EVM). Se espera que los resultados además de optimizar el seguimiento de proyectos en términos de costo, tiempo y alcance contribuyan a la creación de un modelo metodológico que pueda ser replicado por otras empresas del sector, especialmente por las micro, pequeñas y medianas empresas (Mipymes), que generalmente enfrentan limitaciones en recursos tecnológicos, financieros y de personal capacitado.

Adicionalmente, esta investigación busca demostrar el costo-beneficio asociado con la adopción de nuevas metodologías de gestión de obras y herramientas tecnológicas como Power BI en la industria de la construcción en comparación con el desarrollo de procesos manuales, fragmentados o ineficientes que demandan más tiempo y recursos humanos incrementando la carga operativa y disminuyendo la capacidad de respuesta ante desviaciones del proyecto.

Desde una perspectiva académica y profesional, esta investigación aporta al cuerpo de conocimiento sobre la aplicación de herramientas tecnológicas de análisis de datos en la gestión de proyectos de construcción, particularmente a través del uso de dashboards interactivos en Power BI y su articulación con metodologías como EVM alineándose directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la Organización de las Naciones Unidas, aportando valor no solo técnico, sino también social e institucional, en particular:

- **ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico.** Al automatizar el proceso de monitoreo y control de obra, se fomenta la creación de empleos más calificados vinculados al análisis de datos, aumentando la productividad del sector y mejorando el rendimiento de los proyectos. Al reducir atrasos y sobrecostos, se genera una mayor rentabilidad y sostenibilidad financiera en las obras, lo que contribuye a un crecimiento económico más sólido sin comprometer la calidad del trabajo.

- **ODS 9: Industria, innovación e infraestructura.** La implementación de herramientas digitales como Power BI y metodologías como EVM fomenta la transformación digital del sector de la construcción, promoviendo prácticas innovadoras para el control de obra. Esto facilita la toma de decisiones más informadas y mejora la eficiencia en la gestión, promoviendo el desarrollo de infraestructuras modernas, resilientes y sostenibles.
- **ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.** Al optimizar los procesos de gestión de obra, se mejora la planificación y ejecución de proyectos urbanos, asegurando un uso eficiente del tiempo y los recursos. Esto permite que las intervenciones en espacio público o infraestructura urbana contribuyan a una planificación más sostenible de las ciudades.
- **ODS 12: Producción y consumo responsables.** La mejora del monitoreo de obras favorece el uso eficiente de materiales y energía, reduciendo desperdicios innecesarios. Esto fomenta una cultura de responsabilidad y sostenibilidad en la industria, generando impactos positivos en toda la cadena productiva de la construcción.
- **ODS 13: Acción por el clima.** Al utilizar tecnologías que permiten una gestión más eficiente de los procesos constructivos, se disminuye el consumo innecesario de recursos, lo que a su vez contribuye a la reducción de emisiones y a una menor huella ambiental. Esta investigación, al promover la eficiencia operativa, apoya de forma indirecta estrategias de mitigación del cambio climático.

En última instancia, se espera que los hallazgos obtenidos sirvan de referente para la modernización de la gestión de obras civiles en Colombia, contribuyendo a la transformación digital del sector y ofreciendo un modelo replicable para otras empresas en contextos similares, tanto a nivel nacional como en América Latina. Este trabajo representa una contribución práctica a la industria de la construcción, al tiempo que aporta valor a los esfuerzos globales por una gestión más sostenible e inteligente de los proyectos de infraestructura.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

La metodología adoptada en este trabajo se orienta a evaluar y automatizar el proceso de monitoreo y control de obras en la empresa Anfer Ingeniería S.A.S., con el fin de reducir tiempos de procesamiento de datos, minimizar errores en la captura de la información y visualizar informes de manera ágil y dinámica. Para ello, se desarrollaron tres fases principales:

1. **Diagnóstico del proceso actual de monitoreo y control de obra de la empresa:** Se identifican falencias del proceso actual.
2. **Reestructuración del proceso empleando Power BI:** Se rediseña el flujo de trabajo, integrando herramientas tecnológicas con KPIs de la EVM.
3. **Implementación de Power BI en el proceso de monitoreo y control de obra:** Se integra la herramienta tecnológica y la EVM en el proceso, asegurando la interoperabilidad de datos.

Este enfoque permite transformar un proceso manual y fragmentado en un sistema automatizado, eficiente y visualmente comprensible.

3.1 DIAGNÓSTICO DEL PROCESO ACTUAL DE MONITOREO Y CONTROL DE OBRA DE LA EMPRESA

Esta primera etapa consiste en analizar el proceso actual de monitoreo y control de obras que la empresa gestiona, para ello se construye un flujograma (también denominado diagrama de flujo), que es una representación gráfica que muestra, de forma secuencial y estructurada, las etapas o actividades que componen un proceso. Utiliza símbolos estandarizados (como rectángulos, rombos, flechas, entre otros) para ilustrar acciones, decisiones, inicios, finales y conexiones entre las diferentes fases del proceso.

Imagen 6: Elaboración de un flujograma



Una vez construido y validado el flujo de trabajo actual de monitoreo y control de obra, es posible visualizar gráficamente sus etapas, espacios, interacciones, responsables y los programas utilizados. Este diagrama permite identificar con mayor claridad ineficiencias, redundancias o cuellos de botella que puedan afectar el desempeño del proceso, facilitando así un diagnóstico detallado de cada uno de sus procedimientos con el fin de mejorarlos o corregirlos.

3.1.1 Flujograma de proceso

Durante la construcción del flujograma se identificaron siete procedimientos que se representan con diferentes símbolos conectados entre sí, indicando tanto las relaciones entre ellos como la dirección del proceso:

Imagen 7: Símbolos de procedimientos empleados en el flujograma del proceso



Con base en los procedimientos identificados y la información recopilada sobre el proceso, se construye el diagrama de flujo (Imagen 10) en el que se representan de manera estructurada cada una de las etapas del proceso, así como los lugares donde se ejecutan, los responsables asignados y las herramientas utilizadas para generar y procesar los datos de interacción entre actores y programas. A partir de esta visualización, se logra identificar que:

1. El proceso se desarrolla en dos lugares: Una parte en la obra y otra en la oficina central.
2. El proceso involucra cinco actores en estas dos localizaciones:
 - a. En obra: Director de obra, residente de obra, inspector de obra y almacenista.
 - b. En oficina: Profesional de control (cargo creado por la empresa).
3. El proceso emplea cuatro programas para su desarrollo:
 - a. Microsoft Project para la elaboración del cronograma de obra y sus ajustes.
 - b. SAGUT para la elaboración del presupuesto de obra y sus ajustes.
 - c. Excel para la elaboración de cortes de obra, evaluación de la planificación y consolidación de la información para la presentación del informe de gerencia.
 - d. Control de Mastersoft para el registro de costos, entradas y salidas de insumos.

Imagen 8: Softwares empleados en el proceso de monitoreo y control de obra



Igualmente, en el flujo del proceso se identifican cómo, dónde y quién genera cada una de las variables requeridas para la implementación de la Metodología del Valor Ganado que son: Valor Planeado (PV), Valor Ganado (EV) y Costo Real (AC). Con esta información es posible calcular los indicadores clave de desempeño para el monitoreo y control del proyecto. Además, durante el proceso también se determinan otras variables importantes para el seguimiento de obra como el Porcentaje de Actividades Completadas (PAC) y las Causas de No Cumplimiento – (CNC), los cuales son indicadores que se derivan de la herramienta de planificación colaborativa Last Planner System (LPS) de la metodología Lean Construction (Ballard, 2000).

También, cabe señalar que los actores involucrados en el proceso varían según la estructura organizacional específica de cada proyecto. En obras de gran envergadura o alta complejidad, el proceso suele estar distribuido entre cinco responsables, cada uno con funciones definidas según su especialidad. En cambio, en proyectos de menor cuantía o complejidad, las funciones se concentran generalmente en solo dos roles clave: el residente de obra y el profesional de control. Esto demuestra que el proceso es flexible y escalable, adaptándose a las necesidades operativas y recursos disponibles de cada obra.

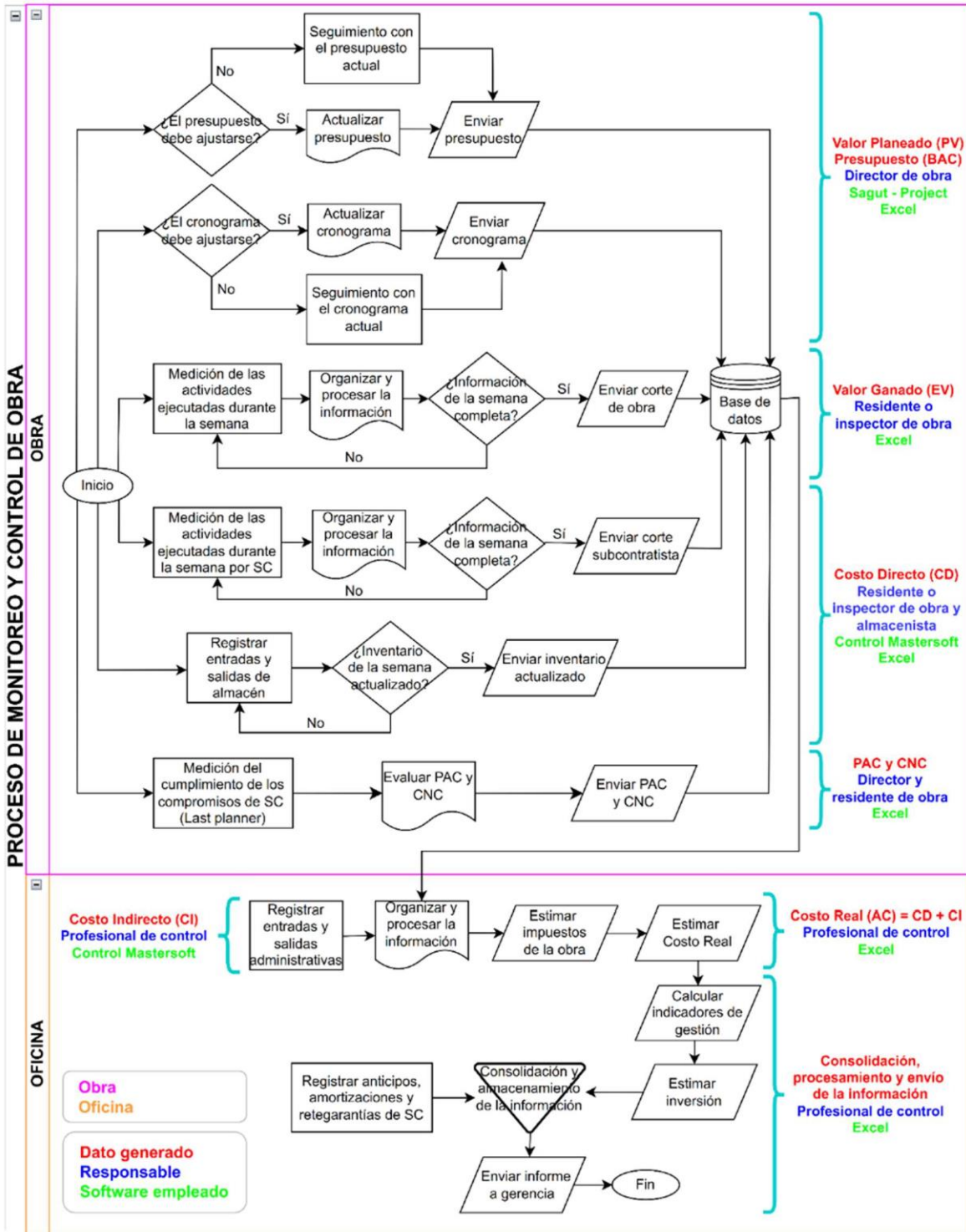
Imagen 9: Estructura organizacional para proyectos de alta complejidad



La estructura presentada corresponde a la organización base de la obra, en la cual se evidencian cinco actores clave del proceso: director de obra, residente de obra, inspector de obra, almacenista y profesional de control. Cabe aclarar que esta estructura refleja únicamente el núcleo operativo principal en campo y oficina, y no contempla otros profesionales esenciales que pueden intervenir según las características del proyecto, como el profesional en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), el profesional Social, el profesional ambiental, entre otros roles técnicos y administrativos necesarios para el desarrollo integral de la obra.

Con base en esta información, se evalúa el proceso identificando aspectos clave para generar un diagnóstico preciso de su estado actual y establecer oportunidades de mejora, apoyándose en el uso de Power BI como herramienta de análisis de datos y visualización interactiva.

Imagen 10: Diagrama de flujo del proceso de monitoreo y control de obra de Anfer Ingeniería S.A.S.



Nota: En el flujograma se pueden evidenciar las 2 locaciones, los 5 actores y los 4 softwares empleados desde el inicio hasta el final del proceso

3.1.2 Evaluación del proceso

Una vez presentado el proceso mediante un diagrama de flujo, se procede a evaluar su eficiencia y efectividad en la gestión y presentación de la información para la toma de decisiones, para esto. Para ellos se determinaron los siguientes aspectos relevantes:

1. **Eficiencia:** Se evalúa el tiempo requerido para la recolección, procesamiento y presentación de datos.
2. **Recursos:** Se establecen los recursos tecnológicos empleados, la cantidad de personas que desarrollan el proceso y su costo según la eficiencia evaluada.
3. **Uso de tecnología:** Se identifica el nivel de digitalización del proceso actual y el grado de automatización en la generación de reportes.
4. **Precisión de los datos:** Se analiza la posibilidad de errores humanos en el registro manual de información.
5. **Accesibilidad:** Se revisa la disponibilidad y facilidad de acceso a la información para los diferentes actores del proyecto.
6. **Oportunidad de la información:** Se analiza si los reportes generados llegan en el momento adecuado para la toma de decisiones oportunas.

Cada uno de estos aspectos se evalúa en los 6 subprocesos definidos en el flujograma los cuales se identifican con corchetes azules en la Imagen 10, del que se obtienen las variables para implementar la EVM y la herramienta LPS para estimar los KPIs a evaluar en el proceso de monitoreo y control de obra:

- **Subproceso 1:** Se obtiene el PV de la fase de seguimiento del presupuesto y cronograma.
- **Subproceso 2:** Se obtiene el EV a partir de la medición de las actividades ejecutadas.
- **Subproceso 3:** Se determina el costo real operativo o costo directo (CD) a partir de:
 - i. La medición de las actividades ejecutadas por los subcontratistas.
 - ii. Los registros de entradas y salidas de insumos asociados al desarrollo de las diferentes actividades de obra (materiales, equipos, maquinaria, transportes, etc.).
- **Subproceso 4:** Se estima el PAC y se establecen las CNC a partir de la implementación de la herramienta LPS en obra.

- **Subproceso 5:** Se determina el costo real administrativo o costo indirecto (CI) a partir de:
 - i. Los registros de entradas y salidas de gastos administrativos del proyecto (nómina, liquidaciones, seguridad social, pólizas, servicios públicos, arriendos, caja menor, mobiliario, equipos, ensayos de calidad, implementos de aseo, etc.).
 - ii. Los impuestos y/o retenciones que se generan por la ejecución de obras públicas o privadas. (estampillas, seguridad ciudadana, reteica, retefuente, etc.).

Después de determinar el costo real operativo (CD) y el costo real administrativo (CI), estos se suman dando como resultado el costo real (AC) del proyecto.

- **Subproceso 6:** Se consolida, procesa y presenta la información, para esto:
 - i. Se recopilan y organizan las variables estimadas (PV, EV, AC, PAC, CNC)
 - ii. Se estiman los KPIs definidos con EVM.
 - iii. Se registra el estado financiero de los subcontratos (pagos, anticipos y retenciones)
 - iv. Se consolida y grafica la información generando el informe gerencial.

Subproceso	1	2	3	4	5	6
Variable generada	PV	EV	CD	PAC CNC	CI AC	KPIs
Responsable	Director de obra	Residente de obra	Inspector y almacenista	Director y residente	Profesional de control	Profesional de control
Software empleado	Sagut Project Excel	Excel	Excel Control	Excel	Control Excel	Excel

Tabla 2: Resumen de la evaluación del flujograma del proceso de monitoreo y control de obra

Para evaluar la eficiencia y el uso de recursos en cada subproceso de la etapa de monitoreo y control del proyecto, se estiman los tiempos requeridos para cada procedimiento definido en el flujograma (Imagen 7) y los costos asociados. Este análisis se realiza con base en la estructura de costos de los profesionales involucrados y las tecnologías de la información utilizadas durante la ejecución de los subprocesos.

Profesional	Costo mensual (Inc. Factor prestacional)	Costo por hora (200 horas al mes)¹
Director de obra	\$ 9.000.000 ²	\$ 45.000
Residente de obra	\$ 6.750.000 ²	\$ 33.750
Inspector de obra	\$ 4.200.000 ²	\$ 21.000
Almacenista	\$ 3.000.000 ²	\$ 15.000
Profesional de control	\$ 4.500.000 ²	\$ 22.500

Tabla 3: Costos de recursos humanos según valores promedio de nómina de la empresa

Software, licencias y suscripciones	Costo mensual	Costo por hora
Paquete de office	\$ 30.000 ³	\$ 150
Internet	\$ 450.000 ⁴	\$ 2.250
Suscripción a almacenamiento	\$ 9.000 ⁵	\$ 45
Licencia Ms Project	\$ 100.000 ⁶	\$ 500
Licencia Control Mastersoft	\$ 100.000 ⁷	\$ 500

Tabla 4: Costos de software, licencias y suscripciones

Equipos de hardware	Costo mensual	Costo por hora
Computadores, servidores, impresoras	\$ 200.000 ⁸	\$ 1.000

Tabla 5: Costos de equipos de hardware

A partir de los recursos y costos definidos por hora, junto con la duración de cada procedimiento y los profesionales asociados a cada subproceso —información obtenida mediante entrevistas con los líderes de las áreas involucradas— se desarrollaron matrices de análisis que permiten evaluar los procedimientos y determinar, además del costo, el impacto de su optimización en términos de ahorro y eficiencia operativa.

¹ Con una base de 46 horas laborales a la semana para el 2024.

² Valor promedio según experiencia y nivel académico del profesional con factor prestacional de 1,5

³ [Microsoft 365 para empresas | Pequeñas empresas | Microsoft 365](#)

⁴ [Claro Negocios Planes corporativos móviles y fijos para empresas](#)

⁵ [Planes y precios para actualizar tu almacenamiento en la nube - Google One](#)

⁶ [Compra Project Professional 2024: software de administración de proyectos local | Microsoft Store](#)

⁷ [Programa Control - Software para administración y gerencia integral de costos de obra](#)

⁸ Valor promedio estimado de dotación de oficina por profesional

El costo por hora se estimó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Costo}_{Hr} = \text{Recurso humano}_{Hr} + \text{Tecnologías de la Información}_{TI}$$

Donde TI,

$$TI_{Hr} = \text{Software, licencias y suscripciones}_{Hr} + \text{Equipos de H}$$

Con la definición de costos, tiempos de duración de los procedimientos, recursos humanos y tecnológicos empleados, se desarrollaron matrices de análisis donde se evaluó la eficiencia de las actividades y se estableció el impacto de cada procedimiento empleado en términos de costo y eficiencia operativa.

PROCEDIMIENTO	Icono	SUBPROCESO						DURACIÓN PROCEDIMIENTO (HRS)	INCIDENCIA POR PROCEDIMIENTO
		SP1 PV	SP2 EV	SP3 CD	SP4 LPS	SP5 CI/AC	SP6 KPI		
Acción	■		8,5	12,5	3	4		28	44,44%
Decisión	◆	0,2						0,2	0,32%
Documento	📄	12	5	4	2	4	0,1	27,1	43,02%
E. o S. de datos	📊	0,2	0,1	0,2	0,1	1,5	2	4,1	6,51%
Base de datos	🗄️	0,2	0,1	0,2	0,1			0,6	0,95%
Consolidación y arch.	▼						3	3	4,76%
DURACIÓN SUBPROCESO (HRS)		12,6	13,7	16,9	5,2	9,5	5,1	63	100%
INCIDENCIA POR SUBPROCESO		20,00%	21,75%	26,83%	8,25%	15,08%	8,10%	100%	

Tabla 6: Resumen duración actual de los procedimientos y subprocesos de monitoreo y control de obras

PROCEDIMIENTO	Icono	SUBPROCESO 1		SUBPROCESO 2		SUBPROCESO 3		SUBPROCESO 4		SUBPROCESO 5		SUBPROCESO 6		COSTO PROCEDIMIENTO	INCIDENCIA POR PROCED.
		COSTO RH	COSTO TI	COSTO RH	COSTO TI	COSTO RH	COSTO TI	COSTO RH	COSTO TI	COSTO RH	COSTO TI	COSTO RH	COSTO TI		
Acción	■	\$ -	\$ -	\$ 178.500	\$ -	\$ 251.250	\$ 6.000	\$ 135.000	\$ -	\$ 75.000	\$ 6.000	\$ -	\$ -	\$ 651.750	39,53%
Decisión	◆	\$ 7.875	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 7.875	0,48%
Documento	📄	\$ 427.500	\$ 14.500	\$ 105.000	\$ 5.750	\$ 90.000	\$ 4.600	\$ 90.000	\$ 2.300	\$ 75.000	\$ 4.600	\$ 1.875	\$ 115	\$ 821.240	49,81%
E. o S. de datos	📊	\$ 7.875	\$ 650	\$ 2.100	\$ 325	\$ 3.750	\$ 650	\$ 4.500	\$ 325	\$ 28.125	\$ 1.725	\$ 37.500	\$ 2.300	\$ 89.825	5,45%
Base de datos	🗄️	\$ 7.875	\$ 9	\$ 2.100	\$ 5	\$ 3.750	\$ 9	\$ 4.500	\$ 5	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 18.252	1,11%
Consolidación y arch.	▼	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 56.250	\$ 3.450	\$ 59.700	3,62%
COSTO SUBPROCESO		\$ 451.125	\$ 15.159	\$ 287.700	\$ 6.080	\$ 348.750	\$ 11.259	\$ 234.000	\$ 2.630	\$ 178.125	\$ 12.325	\$ 95.625	\$ 5.865	\$ 1.648.642	100%
INCIDENCIA POR SUBPROCESO		28,28%		17,82%		21,84%		14,35%		11,55%		6,16%		100%	

Tabla 7: Resumen de costo de recurso humano (RRHH) y Tecnologías de la Información (TI) por procedimiento y subproceso de monitoreo y control de obras actuales

Imagen 11: Costos por subproceso

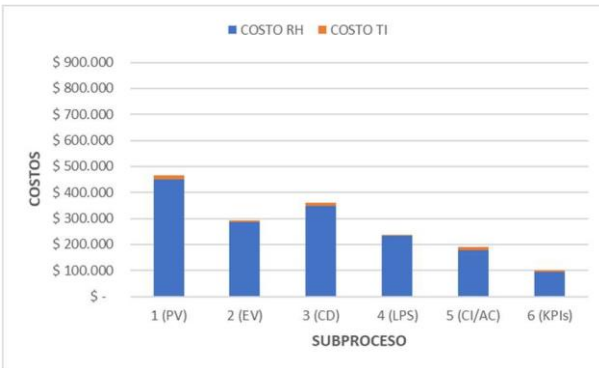


Imagen 12: Costos por procedimiento

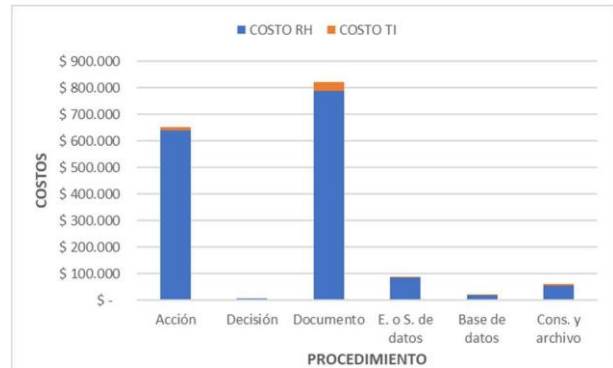


Imagen 13: Duración por subproceso

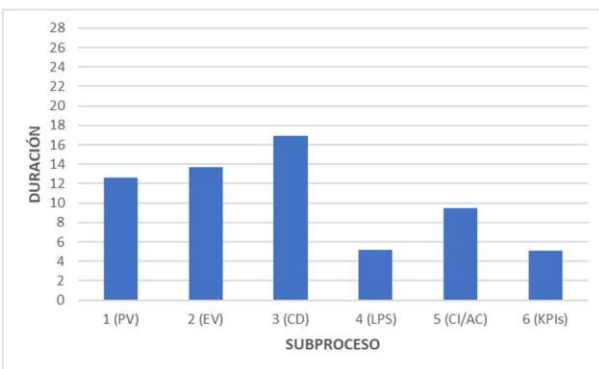
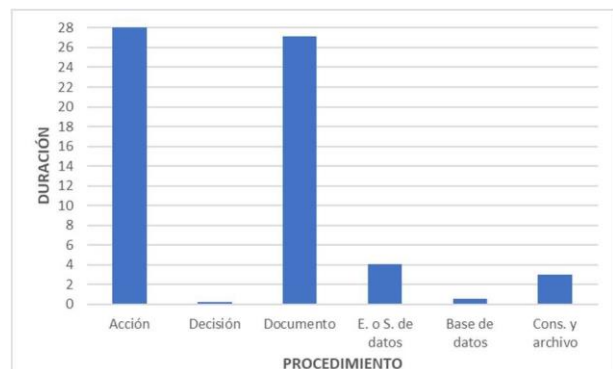


Imagen 14: Duración por procedimiento



En la evaluación de la eficiencia y recursos utilizados en el proceso de monitoreo y control de obras de la empresa Anfer Ingeniería S.A.S., se concluye lo siguiente:

1. La duración total del proceso es de aproximadamente 63 horas semanales.
2. El costo semanal del proceso asciende a \$1.648.642 COP (para el año 2024).
3. De este valor, \$1.595.325 COP (equivalente al 96,77%) corresponden a costos asociados al recurso humano.
4. El procedimiento que representa el mayor costo dentro del proceso es la generación de documentos.
5. El Subproceso con mayor impacto económico es la actualización del presupuesto y del cronograma.

6. El procedimiento que demanda mayor tiempo es el de acciones operativas, especialmente los cortes de obra y mediciones, seguido muy de cerca por la generación de documentos.
7. El subproceso de mayor duración corresponde a la determinación del costo real directo de la obra.

En el análisis de resultados al final de esta investigación se plantea la posibilidad de reducir la carga horaria de procedimientos como la actualización del presupuesto y del cronograma (Valor Planeado), así como de las mediciones en obra (Valor Ganado y Costo Real), mediante la implementación de soluciones tecnológicas avanzadas. Entre estas, se sugiere el uso de la metodología BIM para la actualización presupuestal y la incorporación de modelos 5D para la gestión del cronograma, con el objetivo de disminuir los tiempos de ejecución y optimizar los costos asociados.

Si bien estas alternativas no forman parte del alcance de investigación del presente documento, se dejan a consideración para su desarrollo futuro dentro de la organización como estrategias complementarias de mejora. Cabe resaltar que, aunque estas propuestas se alinean con el propósito general del estudio, el enfoque del trabajo se limita exclusivamente a la optimización de las etapas de análisis, consolidación, procesamiento y visualización de la información mas no a la obtención de esta.

Ahora bien, en lo referente a la evaluación de otros aspectos clave definidos como el uso de tecnología, se identifica que el proceso actual de monitoreo y control presenta un bajo nivel de digitalización. Aunque se emplean herramientas como Excel, Control, Project y carpetas compartidas en la nube (Drive/Gmail), estas no están integradas ni automatizadas, lo cual limita la trazabilidad y centralización de la información. La actualización del presupuesto y el cronograma se realiza de forma manual, lo que dificulta no solo la sincronización entre actores por la ausencia de herramientas como BIM o plataformas colaborativas, sino que además consume tiempo valioso

de los profesionales responsables, restándole disponibilidad para el desarrollo de otras actividades del proyecto retrasando, además, la generación de reportes clave.

Por otro lado, en lo que respecta a la precisión de los datos, el uso extensivo de registros manuales incrementa el riesgo de errores humanos en la consolidación de información. La dependencia de múltiples formatos no estandarizados, como hojas de cálculo independientes, fomenta la duplicidad y pérdida de datos, afectando la confiabilidad de los reportes. Esta situación puede ocasionar decisiones basadas en datos imprecisos, lo cual representa un riesgo para el cumplimiento de metas del proyecto, es por esto por lo que la implementación de procesos automatizados disminuiría significativamente estos errores, al reducir o incluso evitar la intervención directa del usuario.

Asimismo, la accesibilidad a la información es limitada y depende del flujo informal de datos entre actores, principalmente por medio de correos electrónicos y reportes en hojas de cálculo lo que restringe el acceso oportuno a la información por parte de la gerencia y demás interesados del proyecto. La ausencia de una base de datos centralizada y actualizada en tiempo real limita la transparencia del proceso y dificulta el seguimiento continuo del desempeño. Por lo tanto, se identifica la necesidad de implementar plataformas colaborativas o dashboards que permitan un acceso ágil, seguro y en línea a la información clave del proyecto.

Finalmente, los reportes no se generan oportunamente ni con la periodicidad requerida para tomar decisiones a tiempo. La latencia en la recopilación y procesamiento de datos impide una reacción inmediata ante desviaciones del cronograma o del presupuesto. Esta situación compromete la capacidad del equipo de proyecto para implementar acciones correctivas en el momento adecuado, es por esto por lo que la incorporación de sistemas de información automatizados permitiría mejorar la oportunidad de los reportes, facilitando la gestión proactiva y anticipada de riesgos y cambios.

3.1.3 Diagnóstico del proceso

El proceso de monitoreo y control de obra en Anfer Ingeniería S.A.S. se compone actualmente de una serie de procedimientos orientados a la recopilación y análisis de información relacionada con las metodologías EVM (Earned Value Management) y LPS (Last Planner System). Estos procedimientos abarcan diversas actividades, como la gestión del presupuesto, el cronograma y la ejecución de actividades semanales, entre otros aspectos relevantes para el seguimiento adecuado de los proyectos.

El análisis de la situación actual revela que el proceso presenta un alto consumo de tiempo, especialmente en la ejecución de tareas manuales asociadas con la generación de documentos en cada subproceso, lo que representa una carga significativa de trabajo para el personal responsable. En términos de costos, se identificó que el proceso carece de automatización y tecnificación, lo cual incrementa su valor debido a la alta cantidad de horas profesionales requeridas para ejecutar cada procedimiento, generando así una inversión considerable en recursos humanos.

Uno de los principales hallazgos es la ausencia de un sistema integrado que permita automatizar la organización, el procesamiento y la visualización de información en tiempo real. Además, se evidencia una duplicidad de esfuerzos en la alimentación de bases de datos y una falta de interoperabilidad entre herramientas, lo que ha generado ineficiencias en el seguimiento de los proyectos.

Esta situación evidencia la necesidad de incorporar tecnologías que impulsen la automatización y digitalización del proceso. La implementación de tableros interactivos permite mejorar la eficiencia en el análisis y visualización de datos, incrementando la confiabilidad de la información y fortaleciendo la toma de decisiones. En resumen, la evaluación realizada proporciona una base sólida para la implementación de mejoras que permitan una gestión del monitoreo y control más eficiente, alineada con los objetivos estratégicos de la empresa.

PROBLEMAS IDENTIFICADOS	OPORTUNIDADES DE MEJORA
<p>Alto tiempo requerido para la consolidación de información: Actualmente, la recolección y procesamiento de datos provenientes de distintas fuentes (cronograma, costos, avance físico, compromisos semanales) demanda un esfuerzo manual considerable, lo que retrasa el análisis y la toma de decisiones, además de aumentar los costos del proceso al requerir mayor dedicación de los profesionales involucrados.</p>	<p>Automatización del procesamiento de datos mediante herramientas de Business Intelligence: La implementación de Power BI permite estructurar flujos ETL que extraen, transforman y cargan información de distintas fuentes, reduciendo la manipulación manual, el tiempo de procesamiento de datos y por ende la dedicación de los profesionales en el proceso lo que reduce costos.</p>
<p>Errores frecuentes en la transcripción y digitación de datos: La entrada manual de información en hojas de cálculo no estandarizadas incrementa el riesgo de errores que afectan la confiabilidad de los indicadores generados.</p>	<p>Estandarización de formatos y aplicación de validaciones de datos: El uso de formatos estandarizados con reglas de validación, colores de celdas, listas desplegables y mensajes de error reduce significativamente los errores de digitación y mejora la calidad de los datos recolectados.</p>
<p>Falta de interoperabilidad entre sistemas de recolección y análisis: Las herramientas empleadas no se encuentran integradas de manera eficiente, lo que genera redundancia de actividades, duplicidad de registros y pérdida de trazabilidad.</p>	<p>Integración de bases de datos en servidores remotos (nube) y archivos en línea: La utilización de soluciones como SharePoint, OneDrive o similares permite centralizar y actualizar automáticamente la información, mejorando la colaboración entre equipos y la interoperabilidad entre plataformas.</p>
<p>Acceso limitado a la información en tiempo real: La actualización y distribución de la información se realiza de forma diferida, lo que dificulta la detección oportuna de desviaciones críticas en costo, plazo o alcance.</p>	<p>Desarrollo de dashboards interactivos y personalizados: La creación de tableros de control dinámicos facilita la visualización en tiempo real de los KPIs críticos adaptados a las necesidades de cada usuario.</p>
<p>Ausencia de pronósticos basados en datos históricos: Actualmente, no se utilizan KPIs de análisis predictivo para anticipar escenarios de desempeño futuro, lo que limita la capacidad de reacción ante desviaciones.</p>	<p>Incorporación de análisis predictivo y de tendencias: La explotación del lenguaje DAX en Power BI permite proyectar escenarios con indicadores de pronóstico (ETC, EAC), anticipando desviaciones y mejorando la planeación de recursos.</p>
<p>Falta de integración sistemática de indicadores de diagnóstico: Aunque se realiza un seguimiento básico de actividades,</p>	<p>Promoción de la cultura organizacional basada en datos (Data-Driven Decision Making): La disponibilidad de información</p>

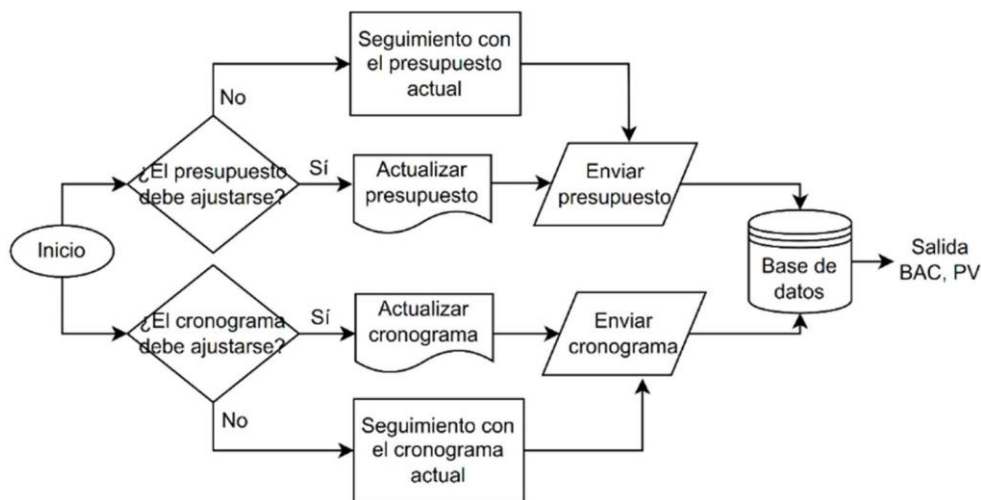
<p>no se incorporan de manera estructurada indicadores como el Porcentaje de Actividades Completadas (PAC) ni las Causas de No Cumplimiento (CNC) derivados de la filosofía Lean Construction.</p>	<p>confiable, oportuna y visualmente accesible impulsa una gestión estratégica basada en evidencia, alineada con procesos de transformación digital. En el sector de la construcción, esto fortalece prácticas de <i>data governance</i>, al garantizar la calidad, trazabilidad, y uso eficiente de los datos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.</p>
<p>Baja trazabilidad de la información capturada en campo: El seguimiento a los compromisos semanales y avances físicos no cuenta con una trazabilidad que permita identificar fácilmente la evolución de cada actividad o su historial de cumplimiento.</p>	<p>Fortalecimiento de la trazabilidad y auditoría de datos: Al digitalizar y automatizar el flujo de información, se mejora la trazabilidad de las decisiones tomadas, lo que facilita auditorías internas y externas sobre el desempeño del proyecto.</p>

Tabla 8: Problemas identificados y oportunidades de mejora

3.2 REESTRUCTURACIÓN DEL PROCESO EMPLEANDO POWER BI

Tras analizar el proceso actual, se identificaron sus limitaciones, áreas de mejora y los procedimientos específicos en los que las herramientas de análisis de datos y visualización interactiva aportan valor y agilizan su ejecución, los cuales se detallan a continuación para cada subproceso identificado:

Imagen 15: Subproceso 1 – Obtención de la información del Valor Planeado

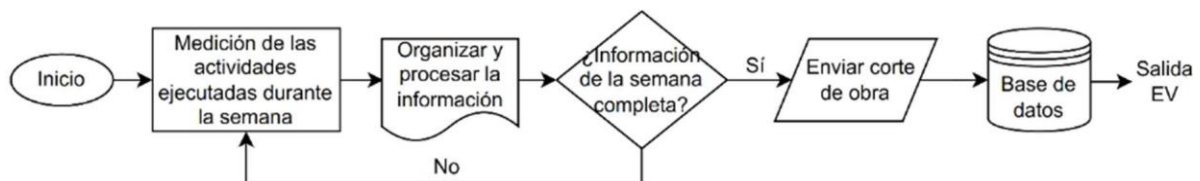


Tal como se expuso previamente en la evaluación de este subproceso (Imagen 15) es posible reducir su duración mediante la adopción de soluciones tecnológicas, entre las cuales se destaca la implementación de la metodología BIM para la actualización presupuestal y la incorporación de modelos 5D orientados a la gestión integrada del cronograma. Estas herramientas permiten optimizar los tiempos de ejecución y mejorar el control de los costos asociados, contribuyendo a una gestión más eficiente y precisa del proyecto. Sin embargo, estas alternativas no forman parte del alcance de esta investigación por lo que se dejan a consideración en el presente documento como parte de la identificación de mejoras en el proceso.

Sin embargo, con el objetivo de reducir los errores de transcripción derivados del ingreso manual de información proveniente del software Microsoft Project (cronograma) y SAGUT (presupuesto), se ha optado por la captura de datos a través de archivos exportados en Excel. Esto permite establecer la interoperabilidad con el software de Business Intelligence (BI) garantizando la integridad y coherencia de la información, así como su consolidación de manera estructurada, organizada y eficiente.

Este procedimiento no solo mejora la calidad de los datos, sino que también permite su lectura y análisis mediante procesos automatizados, lo que garantiza una mayor confiabilidad en los indicadores generados y facilita la trazabilidad de la información.

Imagen 16: Subproceso 2 – Obtención de la información del Valor Ganado



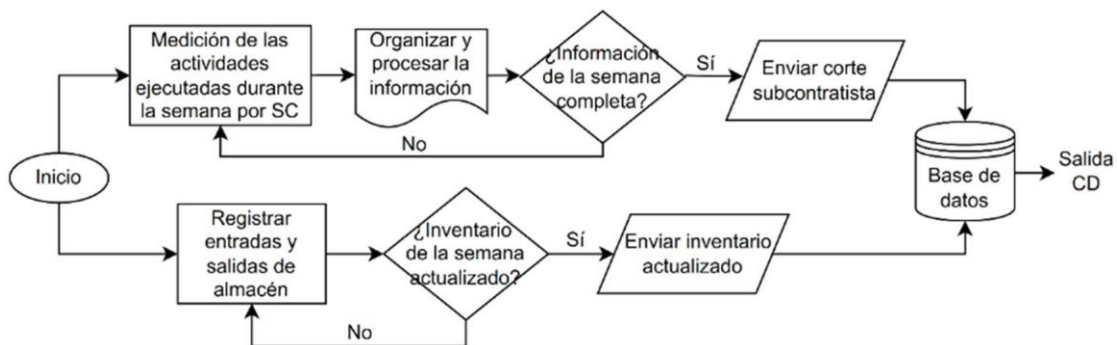
Al igual que el subproceso anterior, este (Imagen 16) puede optimizarse mediante la implementación de un gemelo digital y el trabajo colaborativo en un Entorno Común de Datos (CDE), lo que permite actualizar el avance de obra en tiempo real. Asimismo, es posible incorporar

la captura de mediciones en campo a través de dispositivos móviles como tablets, utilizando formatos estandarizados de memoria de cantidades para cada actividad medida o evaluada del presupuesto. Esto permite estructurar la información desde su origen evitando tiempos muertos o demoras en su digitalización en oficina ya que los datos se registran directamente en el punto de captura. De esta manera, se minimizan los errores de transcripción y se garantiza la integridad y coherencia de la información, facilitando su posterior procesamiento y análisis mediante herramientas como Power BI.

Cabe destacar que, si bien estas propuestas se alinean con los objetivos generales del estudio, el enfoque del trabajo se centra exclusivamente en la optimización de las etapas de ingreso, análisis, consolidación, procesamiento y visualización de la información, y no en los mecanismos de captura o recolección de datos en campo, por lo que estas estrategias se dejan a consideración para su desarrollo futuro dentro de la organización.

No obstante, como parte del proceso de mejora, se propone el desarrollo de un formato estandarizado en Excel para el registro del valor de salida generado en este subproceso. Esta iniciativa contribuye a mejorar la interoperabilidad entre los datos de planificación y ejecución, reduce los errores involuntarios generados durante el ingreso manual de información y garantiza una mayor consistencia en la integración con la herramienta Power BI, fortaleciendo así la calidad del análisis.

Imagen 17: Subproceso 3 – Obtención de la información del Costo Real operativo o Directo (CD)



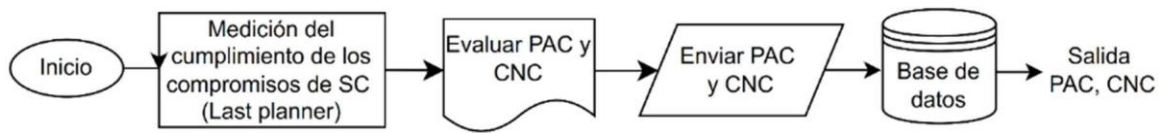
Este subproceso se divide en dos líneas de flujo (Imagen 17). El primero corresponde a la captura en campo de las mediciones de actividades ejecutadas por los subcontratistas, las cuales constituyen el avance financiero reportado en sus contratos. Esta información permite generar cortes de obra que, posteriormente, dan lugar a pagos contabilizados como parte de los costos reales del proyecto. Es importante señalar que dichos costos no se generan únicamente por la ejecución de subcontratos de mano de obra, sino también por contratos a todo costo, prestación de servicios, suministro de materiales, alquiler de maquinaria o equipos, estudios, diseños, asesorías y cualquier otra modalidad de contratación requerida para el desarrollo operativo del proyecto.

Por otra parte, se encuentra el registro de salidas de insumos del almacén, que ocasionan una disminución del inventario o causación de materiales. Todos estos rubros son reportados a través del software Control y se consolidan como parte del costo real de obra.

Al igual que en el subproceso de actualización del valor planeado y ganado, una alternativa para optimizar la generación de cortes de obra es la implementación de modelos 3D actualizados conforme al avance real del proyecto, los cuales permitirían automatizar la elaboración de cortes por subcontrato. No obstante, dado que este aspecto excede el alcance del presente documento –al requerir el desarrollo e integración de modelos BIM 5D y una infraestructura tecnológica adicional–, se plantea únicamente como una propuesta de mejora para el futuro perfeccionamiento del subproceso.

En cuanto al registro de egresos del proyecto en sus diferentes rubros, se propone establecer la interoperabilidad entre el software Control y la herramienta Power BI mediante el uso de información exportada desde el primero. Esta integración busca optimizar el ingreso, estructuración y visualización de los datos asociados al consumo de materiales y a los gastos vinculados con proveedores y subcontratistas. La implementación de esta conexión permite una gestión más eficiente, precisa y oportuna de los costos reales de obra, al facilitar diagnósticos financieros como flujos de caja y análisis de Pareto aplicados a proveedores, insumos o egresos, fortaleciendo así la trazabilidad y el control de los costos a lo largo del proyecto.

Imagen 18: Subproceso 4 – Obtención de la información del PAC y CNC

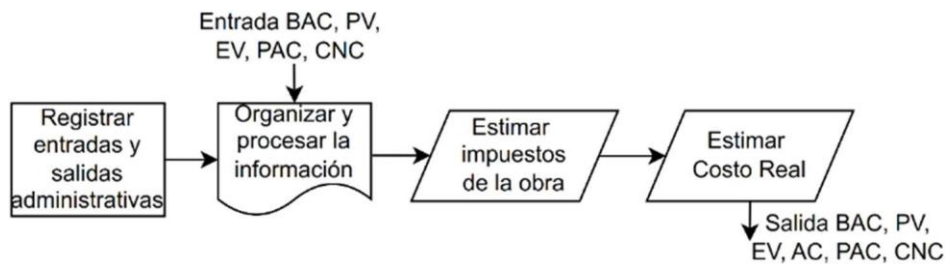


Para el registro de las mediciones asociadas a los compromisos de los subcontratistas y el equipo de trabajo del proyecto (Imagen 18), que constituyen el insumo fundamental para la estimación de los indicadores de Porcentaje de Actividades Completadas (PAC) y Causas de No Cumplimiento (CNC) propios de la herramienta Last Planner System de la filosofía Lean Construction, y dado que actualmente no se cuenta con un software específico para su seguimiento, se propone la estandarización de un formato como prototipo de implementación. Este instrumento tiene como objetivo estructurar la captura de información de forma clara, precisa y sistemática, facilitando su consignación en campo y posterior exportación a Power BI, donde será consolidada, analizada y visualizada. Este prototipo será probado en el marco de la presente investigación y se proyecta su perfeccionamiento en desarrollos futuros, ajustándolo progresivamente a las necesidades operativas de la empresa y a los requerimientos particulares de cada proyecto. De este modo, dicho subproceso se articula con el enfoque general de esta investigación, contribuyendo al fortalecimiento integral del sistema de monitoreo y control de obra.

Cabe señalar que el alcance del presente trabajo de grado no incluye la implementación de herramientas de la filosofía Lean Construction, ya que se enfoca exclusivamente en la implementación de indicadores de gestión derivados de la metodología del valor ganado. Sin embargo, con el objetivo de complementar el proceso de monitoreo y control de obra actualmente aplicado por la empresa, se incorpora de manera puntual la fase final del proceso de LPS, específicamente en lo relacionado con la captura, estandarización y procesamiento de la información, como insumo para su posterior análisis y visualización en la plataforma propuesta.

En consecuencia, etapas previas como la estructuración del plan maestro, la programación intermedia, la identificación de unidades de producción y la evaluación de restricciones, no son objeto de desarrollo en este estudio, aunque se reconocen como componentes esenciales del sistema completo.

Imagen 19: Subproceso 5 – Obtención de la información del Costo Real administrativo o indirecto (CI) y estimación del Costo Real

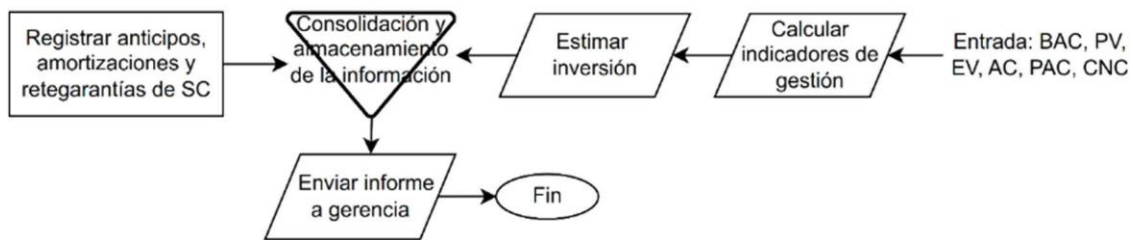


En este subproceso (Imagen 19) se determina el Costo Real administrativo o indirecto (CI) a partir del registro de los gastos asociados a la nómina, liquidaciones, seguridad social, pólizas, caja menor y demás conceptos clasificados como administrativos. Estos se integran al Costo Real operativo (CD) correspondiente a la ejecución directa de obra. Sumados, y considerando además las deducciones contractuales por concepto de descuentos y retenciones, permiten establecer de manera más precisa el Costo Real del proyecto, fortaleciendo así la trazabilidad y confiabilidad de la información financiera.

Al igual que en el registro de salidas de insumos, se propone establecer la interoperabilidad entre la herramienta Power Bi y el software Control mediante el uso de bases de datos exportadas de este último, lo que permite automatizar el flujo de información mediante procesos ETL (Extract, Transform, Load). Esta integración no solo optimiza considerablemente el tiempo de procesamiento, sino que facilita el análisis y visualización oportuna de los datos. Por ejemplo, actividades como la filtración y estimación de costos administrativos asociados a cada partida de pago o período de análisis –que anteriormente requerían la consolidación manual de múltiples hojas de cálculo y demandaba entre media jornada y un día completo de trabajo, según el volumen

de información– ahora pueden realizarse en segundos. Esto es posible gracias al uso de índices previamente estandarizados en el software Control, que permiten depurar, consolidar y visualizar los datos de forma dinámica en Power Bi. Como resultado, se agiliza la detección de desviaciones presupuestales, se identifican patrones de sobreconsumo o ineficiencia administrativa, y se generan alertas tempranas que fortalecen una gestión proactiva basada en información confiable y actualizada.

Imagen 20: Subproceso 6 – Estimación de KPIs y generación del informe gerencial



Finalmente, a partir de las variables estimadas en cada uno de los subprocesos (Imagen 20), se calculan los indicadores clave de gestión (KPIs) mediante el uso del lenguaje nativo de fórmulas y consultas para modelos tabulares de Power BI, conocido como DAX (Data Analysis Expressions). Este lenguaje, implementado en el backend del modelo, permite realizar operaciones complejas, relaciones entre tablas, cálculos dinámicos y análisis comparativos entre periodos, lo que garantiza una interpretación precisa y contextualizada de los datos.

Una vez estructurada la lógica de datos y las métricas en el backend, la información se consolida y se expone a través de un frontend interactivo, diseñado como un informe gerencial dinámico que presenta el estado del proyecto en tiempo real. Este entorno de visualización ofrece filtros, segmentaciones y gráficos intuitivos que permiten explorar los datos de manera flexible y personalizada. Si bien Power BI es una herramienta amigable para el usuario, algunas funcionalidades avanzadas requieren conocimientos técnicos específicos, es por ello por lo que el dashboard ha sido diseñado diferenciando los niveles de complejidad según el tipo de usuario,

permitiendo que tanto perfiles operativos como gerenciales puedan interactuar con la información según sus necesidades, ya sea para análisis detallados o para tomar decisiones estratégicas.

Este modelo se enmarca en una solución de Business Intelligence (BI) aplicada a la gestión de proyectos de construcción, permitiendo transformar grandes volúmenes de datos operativos y administrativos dispersos entre diferentes actores y lugares, en información estratégica que potencia la toma de decisiones basadas en datos (data-driven decision-making - DDDM). Al centralizar y estructurar la información en un entorno digital e interactivo, se genera un modelo replicable y escalable, alineado con los principios de eficiencia, transparencia y mejora continua, promoviendo además una cultura organizacional orientada a resultados.

Además, la propuesta incorpora indicadores derivados de la filosofía Lean Construction, particularmente del sistema Last Planner System (LPS), integrando al modelo métricas clave como el Porcentaje de Actividades Completadas (PAC) y las Causas de No Cumplimiento (CNC). Si bien el enfoque del presente trabajo se limita a la captura, procesamiento y visualización de esta información, la incorporación de estos indicadores complementa el modelo de monitoreo y control, alineándolo con enfoques colaborativos y de flujo continuo de valor propios de Lean Construction aunado a un enfoque PMI.

De esta manera, la integración entre herramientas tecnológicas (Power BI), enfoques de BI y PMI, arquitectura de datos (backend/frontend) y principios de Lean Construction, configura una solución integral para el monitoreo y control de obra, fortaleciendo la eficiencia operativa y estratégica en la gestión de proyectos de construcción.

3.2.1 Definición de indicadores de desempeño – KPIs y métricas a emplear

La definición e implementación de indicadores clave de desempeño (Key Performance Indicators - KPIs) constituye un componente fundamental en el monitoreo y control de proyectos de construcción. En el marco de esta investigación, se adopta como eje metodológico la gestión

del Valor Ganado (Earned Value Management - EVM) por su enfoque integral que permite evaluar el rendimiento del proyecto en términos de costo, tiempo y alcance de manera simultánea. Esta metodología permite comparar el desempeño planificado con el desempeño real del proyecto mediante el análisis de tres variables base: PV, EV y AC. A partir de estos datos se calculan los indicadores principales de desempeño y pronóstico. Además, se incorporan indicadores de diagnóstico derivados del Last Planner System (LPS), herramienta fundamental de la filosofía Lean Construction con el propósito de complementar el análisis de desempeño desde una perspectiva colaborativa, orientada a la mejora continua.

La integración de estos datos con herramientas de análisis y visualización como Power BI no solo permite monitorear en tiempo real el comportamiento operativo del proyecto, sino que también facilita la evaluación de la confiabilidad en la planificación a corto plazo, la identificación de cuellos de botella y la implementación oportuna de acciones preventivas o correctivas. También, fortalece la toma de decisiones basadas en datos, alineadas con los principios de la filosofía Lean como la reducción de desperdicios, el flujo continuo y la generación de valor para el cliente. Esta sinergia entre LPS, la metodología del Valor Ganado (EVM) y las plataformas de Business Intelligence, ofrecen una visión integral del desempeño del proyecto, abarcando tanto la planificación estratégica como la gestión táctica en obra. De esta manera, se promueve una cultura de mejora continua sustentada en información confiable, oportuna y visualmente accesible para todos los actores del proyecto.

Finalmente, con el objetivo de integrar los indicadores de desempeño, pronóstico y diagnóstico, y proporcionar una visión integral del estado del proyecto en términos de alcance, costo y tiempo, se define el Índice de Desempeño del Proyecto (IDP). Este indicador compuesto consolida tres métricas clave: el Índice de Desempeño de Costo (CPI), el Índice de Desempeño de Cronograma (SPI) y el Porcentaje de Actividades Completadas (PAC), permitiendo una evaluación cuantitativa del rendimiento general del proyecto con una puntuación máxima de 100 puntos (Rosero Vergara, 2022).

Para su formulación, se establecieron ponderaciones diferenciadas según la relevancia de cada indicador en la gestión del desempeño. En este sentido, el PAC —por reflejar el nivel de cumplimiento operativo de los compromisos planificados— recibe una asignación máxima de 40 puntos. Por su parte, el CPI y el SPI, que miden la eficiencia en términos de costos y cronograma respectivamente, se valoran con hasta 30 puntos cada uno (Rosero Vergara, 2022). Esta distribución permite evaluar de manera objetiva y equilibrada el desempeño del proyecto, considerando tanto los resultados financieros y el cumplimiento en la programación de obra, así como la productividad y confiabilidad en la planificación. Esta integración de indicadores facilita la toma de decisiones gerenciales al ofrecer una lectura rápida y comprensible del comportamiento del proyecto, promoviendo una gestión proactiva y ágil.

Adicionalmente, el IDP puede ser visualizado y desglosado mediante herramientas de Business Intelligence como Power BI, lo que permite identificar rápidamente desviaciones críticas, generar alertas tempranas y establecer planes de acción correctivos fundamentados. Los tableros de control (Dashboard) resultan especialmente útil en entornos colaborativos que aplican principios de Lean Construction, al apoyar una cultura de mejora continua y gestión visual del desempeño permitiendo implementar medidas que corrijan o prevengan variaciones que afecten las metas del proyecto garantizando una ejecución eficiente sin retrasos ni sobrecostos.

MÉTRICA	EVM	SIGLA	FÓRMULA	EVALUACIÓN
MEDIDAS BÁSICAS	Valor Planeado (Costo Presupuestado del Trabajo Programado)	PV (CPTP)		PV > EV Atrasado PV < EV Adelantado EV < AC Sobrecostos EV > AC Subcostos
	Valor Ganado (Costo Presupuestado del Trabajo Realizado)	EV (CPTR)		
	Costo Real (Costo Real del Trabajo Realizado)	AC (CRTR)		
	Presupuesto al Finalizar (Costo Total Planeado)	BAC (CPF)		
ÍNDICES DE DESEMPEÑO	Índice de Rendimiento de Costo	CPI (IRC)	EV/AC	CPI < 1 Déficit
				$1 \leq \text{CPI} \leq 1,05$ Aceptable
				CPI > 1,05 Superávit
	Índice de Rendimiento de la Programación	SPI (IRP)	EV/PV	SPI < 0,9 Atrasado
				$0,9 \leq \text{SPI} < 1$ Aceptable
				SPI ≥ 1 Adelantado

% AVANCE PROYECTO	% Programado	% PROG	PV/BAC	% Pr > % Eje Atrasado
	% Ejecutado	% EJEC	EV/BAC	% Pr < % Eje Adelantado
	Programación Ganada (Earned Schedule)	ES	$\frac{EV - PV_c}{PV_{c+1} - PV_c} - 1$	ES < 0 Tiempo atrasado ES > 0 Tiempo adelantado
PRONÓSTICOS	Costo Estimado al Finalizar	EAC (CEF)	BAC/CPI	EAC > BAC Costo mayor al presupuestado EAC < BAC Costo menor al presupuestado
	Estimación del Costo para Terminar	ETC	EAC - AC	Costo previsto para terminar el proyecto
	Variación Al Finalizar	VAC (VAF)	BAC - EAC	VAC < 0 Costo mayor al planeado VAC > 0 Costo menor al planeado
	Índice de Rendimiento para Completar	TCPI (IRPC)	$\frac{BAC - EV}{BAC - AC}$	TCPI > 1 Más difícil de completar TCPI < 1 Más fácil de completar

Tabla 9: Listado de KPIs a evaluar con EVM (Project Management Institute, 2017)

MÉTRICA	LPS	SIGLA	FÓRMULA	EVALUACIÓN
MEDIDAS BÁSICAS	Actividades Programadas	AP		Actividades sin restricciones
	Actividades Completadas	AC		Actividades programadas terminadas
DIAGNÓSTICO	Porcentaje de Actividades Completadas	PAC	AC/AP	PAC < 0,65 Desfavorable
				0,65 ≤ PAC ≤ 0,85 Aceptable
				PAC > 0,85 Favorable
	Causas de No Cumplimiento	CNC		Identificación de causa raíz de no cumplimiento (Tabla 8)

Tabla 10: Listado de KPIs a evaluar con LPS (Ballard, 2000)(Rosero Vergara, 2022)

No.	SIGLA	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN
1	AMB	MANEJO AMBIENTAL	Suspensión de actividades por incumplimiento al Plan de Manejo Ambiental (Orden, aseo, etc.)
2	AT	ACCIDENTE DE TRABAJO	Interrupción de actividades por accidentes laborales o incumplimiento de normas de SST
3	DPO	DEFICIENCIA EN LA PROGRAMACION DE OBRA	Estimación inadecuada de la duración de las actividades
4	DSÑ	DISEÑO Y/O ESPECIFICACIONES TECNICAS	Ausencia, modificación o deficiencia en los diseños y/o especificaciones técnicas
5	FA	FACTORES ATMOSFERICOS	Afectación por condiciones climáticas adversas
6	FF	FALTA DE FRENTE	Imposibilidad de iniciar actividades por falta de permisos, licencias u otros prerrequisitos del cliente

7	IC	INTERVENCIÓN DEL CLIENTE	Suspensión, modificación o reorientación de actividades por decisión del cliente
8	MAQ	MAQUINARIA	Ausencia, insuficiencia, bajo rendimiento o avería del equipo o maquinaria requerida
9	MAT	MATERIALES	Ausencia, insuficiencia o mala calidad del material para la actividad
10	MO	MANO DE OBRA	Personal insuficiente, bajo rendimiento o no especializado para realizar la actividad
11	PCL	PRE-REQUISITO CLIENTE	No se cumple con: procedimientos, autorizaciones, documentos, registros, protocolos, certificaciones, etc.
12	PCT	PRE-REQUISITO CONTRATISTA	No se cumple con: procedimientos, autorizaciones, documentos, registros, protocolos, certificaciones, etc.
13	PNC	PRODUCTO NO CONFORME	Actividad o producto no cumple con las especificaciones técnicas contratadas
14	PSC	PROBLEMAS SUBCONTRATO	Problemas de legalización del subcontrato
15	TMAT	TRANSPORTE DE MATERIALES	Ausencia de vehículos, daños o capacidad insuficiente para realizar el transporte de materiales
16	PRD	PREDECESORA SIN TERMINAR	Actividad predecesora no finalizó en el plazo programado

Tabla 11: Causas de No Cumplimiento definidas para proyectos de la empresa Anfer Ingeniería S.A.S. (Rosero Vergara, 2022)

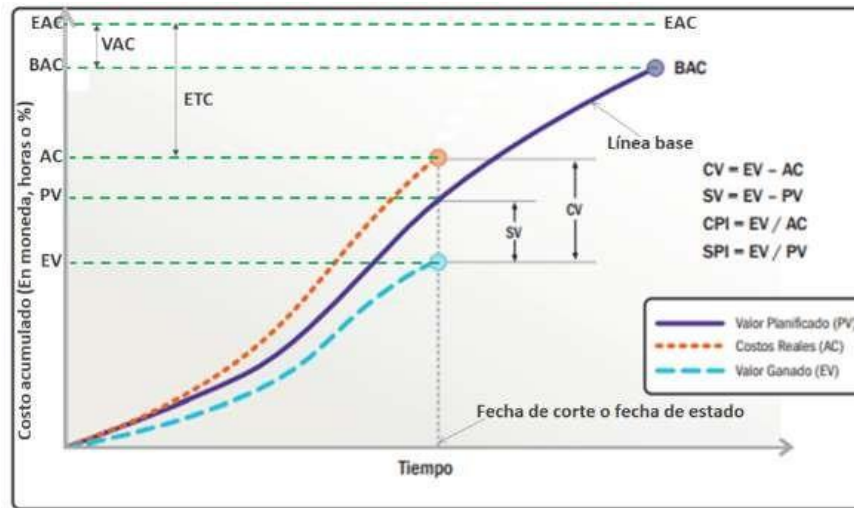
ÍNDICE DE DESEMPEÑO DEL PROYECTO – IDP						
Indicador	Rango por evaluar	Estado	Calificación del IDP	Calificación máxima del IDP	Evaluación del IDP	Desempeño del proyecto
PAC	$PAC < 0,65$	Desfavorable	10	40	IDP ≤ 65	Bajo
	$0,65 \leq PAC \leq 0,85$	Aceptable	30			
	$PAC > 0,85$	Favorable	40			
SPI (IRP)	$SPI < 0,9$	Atrasado	10	30	$65 < IDP \leq 80$	Aceptable
	$0,9 \leq SPI < 1$	Aceptable	20			
	$SPI \geq 1$	Adelantado	30			
CPI (IRC)	$CPI < 1$	Déficit	10	30	IDP > 80	Satisfactorio
	$1 \leq CPI \leq 1,05$	Aceptable	25			
	$CPI > 1,05$	Superávit	30			
Total				100		

Tabla 12: Evaluación del IDP según los valores de los indicadores de EVM y LPS (Rosero Vergara, 2022)

Asimismo, al cálculo de estos indicadores, se construyen curvas de seguimiento dinámicas para las métricas fundamentales de la gestión del valor ganado (EVM), como el Valor Planeado (PV), el Valor Ganado (EV) y el Costo Real (AC), lo que permite una interpretación gráfica de las

desviaciones en cronograma, presupuesto y costo (Imagen 21). Estas curvas no solo brindan una visión retrospectiva, sino también proyectiva, anticipando escenarios futuros mediante estimaciones como el EAC (Estimate at Completion) y el ETC (Estimate to Complete).

Imagen 21: Curva de Valor Ganado

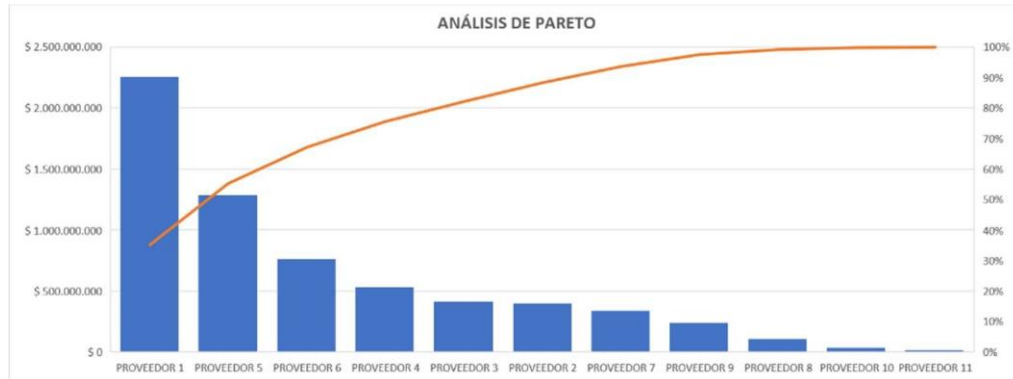


Nota: Adaptación a imagen tomada del PMBOK 7ma edición

Como complemento, se integran visualizaciones de carácter financiero y logístico que enriquecen la perspectiva estratégica del proyecto. Entre ellas, se incorpora el análisis de Pareto de proveedores, el cual permite identificar a los actores con mayor impacto económico en la ejecución del proyecto. Esta información resulta importante para fortalecer la gestión de compras, fomentar relaciones estratégicas y mitigar riesgos asociados a la cadena de suministro. Además, el análisis permite proponer acciones correctivas o preventivas orientadas a ajustar los costos reales, tales como la renegociación de precios con proveedores críticos, la implementación de esquemas de pago diferido, la búsqueda de nuevas cotizaciones en el mercado, o incluso la sustitución de insumos por alternativas más eficientes. De esta forma, la herramienta no solo cumple una función diagnóstica, sino que habilita una gestión más estratégica, enfocada en optimizar los recursos y garantizar la sostenibilidad financiera del proyecto.

Asimismo, se incorpora un panel de seguimiento de costos administrativos o indirectos, permitiendo analizar su evolución en el tiempo, compararlos frente al presupuesto y evaluar su proporción dentro del costo total del proyecto. Esto facilita el control de los gastos generales, mejora la eficiencia operativa y permite identificar oportunidades de optimización.

Imagen 22: Visualización de análisis de Pareto por tipo de costo (operativo o administrativo)



Esta visión ampliada y multidimensional del desempeño, soportada por herramientas de Business Intelligence como Power BI, permite que los datos no solo informen, sino que generen valor estratégico. De este modo, la gestión del proyecto trasciende la supervisión tradicional, convirtiéndose en un sistema inteligente de apoyo a la toma de decisiones, basado en información confiable, visualmente intuitiva y en tiempo real.

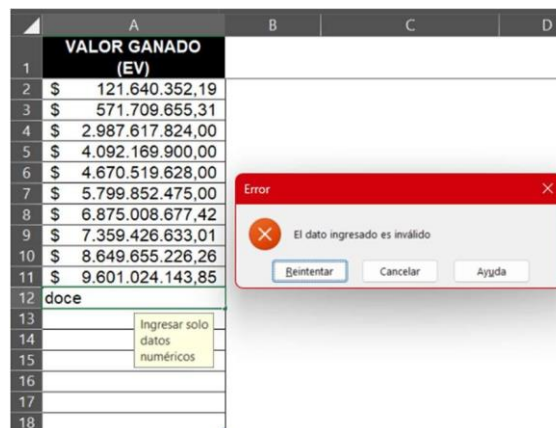
3.2.2 Definición de las bases de datos y estructuración de la información a emplear

Actualmente, el proceso de monitoreo y control de obras en la empresa se realiza mediante herramientas como Excel, Project de Microsoft y Control de Mastersoft, las cuales se utilizan para generar la información necesaria para el seguimiento de los proyectos, tal y como se identificó en el flujograma (Imagen 10). Adicionalmente, se emplean servicios de red en servidores remotos que permiten almacenar y compartir los datos. Sin embargo, los archivos generados operan de manera aislada y carecen de integraciones automáticas lo que limita la trazabilidad y centralización de la información dificultando una gestión eficiente y oportuna de los proyectos.

Por otra parte, la actualización de datos clave —como el presupuesto o el cronograma— se realiza de manera manual con estos programas, lo cual no solo incrementa la carga operativa sobre los equipos de trabajo, sino que también eleva el riesgo de errores por digitación, demora en la actualización o duplicidad de información por lo que la ausencia de herramientas como BIM, modelos 5D o plataformas colaborativas dificulta la sincronización eficiente entre actores del proyecto, retrasando la generación oportuna de bases de datos empleadas para la elaboración de reportes sobre los que se toman las decisiones.

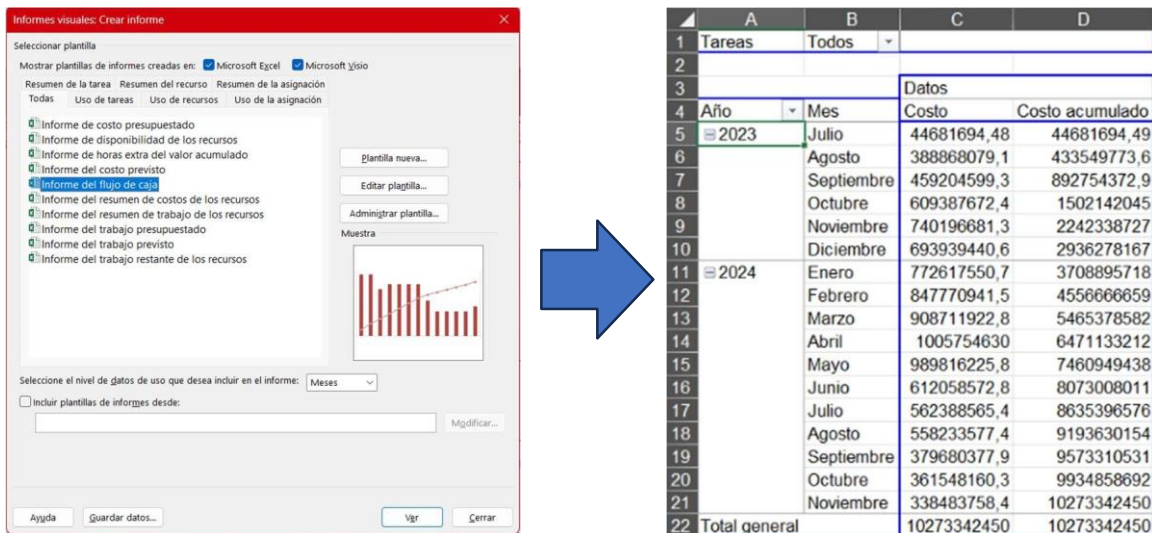
Como se mencionó anteriormente, aunque la captura de información en campo y la implementación de metodologías como BIM y su interoperabilidad con la herramienta Power BI no hacen parte del alcance de esta investigación, se plantea por otro lado, la optimización del procedimiento de ingreso de datos mediante el uso de formatos estandarizados en hojas de cálculo. Estos archivos base (Imagen 23) permiten controlar la calidad de la información al restringir la entrada de datos erróneos mediante validaciones, mensajes de error y codificación por colores en celdas, además de estructurar adecuadamente la información lo que facilita su procesamiento a través de un flujo ETL (Extracción, Transformación y Carga), permitiendo su correcta importación en Power BI. Finalmente, mediante el uso del lenguaje de programación nativo de la herramienta (DAX) creado para el procesamiento, los datos son analizados conforme a los lineamientos establecidos en la metodología del Valor Ganado (EVM).

Imagen 23: Formato de ingreso de información relacionada con el Valor Ganado (EV)



De igual manera, con el fin de agilizar el ingreso de la información correspondiente al Valor Planeado, se exporta el informe de flujo de caja desde Microsoft Project. Posteriormente, los datos se transforman y cargan mediante un proceso ETL para ser utilizados en el modelo de análisis.

Imagen 24: Generación del reporte de Valor Planeado (PV) desde Microsoft Project



Asimismo, la obtención de los datos asociados al costo real del proyecto se realiza a través del software Control de Mastersoft (Imagen 25), herramienta que permite registrar de manera sistemática las operaciones relacionadas con la gestión de insumos, proveedores, subcontratistas y en general los pagos administrativos, operativos y demás egresos vinculados al desarrollo del proyecto. Esta plataforma constituye la fuente primaria de información contable y operativa para consolidar los costos reales de la obra la cual se almacena en una base de datos que puede ser exportada en formato estructurado, permitiendo su posterior integración con herramientas externas de análisis.

Imagen 25: Registro de gastos vinculados al proyecto en el software Control y exportación de las bases de datos de Costos Reales (AC)

The screenshot shows the 'Inventario de Almacén' window with a list of materials. The columns include 'Código', 'Descripción', 'Unidad', 'Subalredes', 'Entradas', 'Salidas', and 'Saldo'. Two blue arrows point downwards from the bottom of this window towards the two summary tables below.

Código	Empresa	Clasificación	Acumulado
000000370	3M CONSTRUCCIONES SAS		4.339.500
A&G SEÑAL	A&G SEÑALIZACIONES		2.017.650
000000276	A&G SEÑALIZACIONES S.A.S		
000000264	A.S.A. ANDAMIOS Y EQUIPOS		195.000
000000231	AARON FERRETRIA		42.000
000000385	ABC COMERCIO Y SERVICIOS DE PINTURAS SAS		5.012.325
000000336	ACUERDOS LEGALES SAS		140.000.000
000000338	ADRIANA OCHOA		161.901
000000296	ALBERTO JOSE VALENCIA		680.000
000000297	ALBERTO VALENCIA		
000000278	ALCALDIA DE SANTIAGO DE CALI - DAGMA		2.603.205
000000233	ALEJANDRO GIRALDO		1.900.000
000000366	ALVARO HERNANDEZ		3.104.209
000000256	ANA FONSECA		100.000
000000312	ANDRES FELIPE SANCHEZ		4.516.400
000000319	ANDRES ROSERO		792.741
PMT-1	ANGELICA MARIA CORREA MUÑOZ		
SEG-001	APORTES EN LINEA		84.807.300
000000262	BAIRON DAVID LOPEZ		2.130.000
000000298	BLOCKES KLAHR SAS		82.855.800
000000262	BODEGA DE INSUMOS SERVICIOS Y EMPRESARIA		119.000
000000282	ROOM F.M. 99.1 S.A.S		1.300.000
000000315	CARLOS BRAVO		48.607.643
000000250	CARLOS DANIEL RIVERA PINEDA		37.000
000000340	CASAMORA SAS		1.289.904
000000341	CD INGENIERO SAS		
000000299	CEMEX COLOMBIA SA		197.933.489
000000269	CENTRAL DE TRIPLEX LTDA		1.352.700
000000272	CIA SEGUROS MUNDIAL DE SEGUROS S.A		67.876.434
000000272	CINDY BENTO		242.000
000000365	CONCRETOL		1.330.539

Orden	Origen	Entrada	Salida	PRECIO UNIT.	PRECIO NETO	Fecha del Precio	Valor Entradas	Valor Salidas					
1	MOVIMIENTO PARCIAL [2023/07/31 - 2024/02/24]												
2	PROYECTO INTEGRAL CRISTO REY FASE II TRAMO II, UBICADO EN EL SECTOR COMPRENDO ENTRE LA CARRERA 36 CON CALLE 48 Y SA UNIVERSIDAD DEL VALLE SED Y LA ZONA POSTERIOR DEL HOSPITAL UNIVERSARIO DEL VALLE												
3	CONSORCIO VIAS DEL VALLE												
4	Código	Descripción	Unidad	Subalredes	Entradas	Salidas	PRECIO UNIT.	PRECIO NETO	Fecha del Precio	Valor Entradas	Valor Salidas		
5	PROY-0861	1 SONDOO HASTA 1.5M O RECHAZO PARA UN TOTAL DE 12 M. DE PREPARACION-SECTOR DEL PUENTE	UNO		71.400			71.400	26/12/2013	192.780	192.780		
6	PROY-0862	1 SONDOO HASTA 1.5M O RECHAZO POR UN TOTAL DE 14M. PREPARACION - PARABELLA	UNO		80	83	83	21.400	20/02/2014	808.900	808.900		
7	ADN-0001	44.000 CANTERA BLANCA	HELO		12.000	77	77	5.181	14/02/2014	43.166	43.166		
8	PROY-0205	ACCESORIOS DE REDES NO PREVISTOS	GRU		10.000	4	4	249.100	10/08/2013	996.400	996.400		
9	UNO-0001	ACETIL MEXICO 4 TEMPER.	GRU		90	4	4	23.820	29/12/2013	118.100	118.100		
10	UNO-0003	ACTIVANTE PARA CONCRETO	UNO		1	1	1	69.900	15/09/2013	209.700	104.850		
11	ADN-0002	ALUM	GRU		990	2.100	60.07	58.93	11/278	11.278	189/2014	877.011	899.013
12	ADN-0003	ACTIVACION DE PASETE CONTABLE SIGO	UNO		64	64	3	289.151	29/01/2014	864.451	864.451		
13	PROY-0205	ACRUFUTO	MPS		900	3	3	1.279.444	1/278.444	29/01/2014	3.688.533	3.688.533	
14	UNO-0003	ADN-0001	GRU		1.110	1	1	25.000	25.000	28/02/2014	25.000	0	
15	ADN-0001	ADN-0001	UNO		255	23	18	121.820	121.820	30/01/2014	2.680.039	2.195.233	
16	UNO-0001	ADN-0001	GRU		134	88	88	16.899	16.899	6/02/2014	1.132.577	1.132.577	
17	UNO-0001	ADN-0001	UNO		34	44.000	44.000	1.278	1.278	23/02/2014	56.210.000	54.488.400	
18	ADN-0001	ADN-0001	M2		14	175.52	172.8	80.600	80.000	15/09/2013	14.025.600	13.832.000	
19	UNO-0001	ADN-0001	M3		1	10.000	10.000	88	88	30/08/2013	880.000	880.000	
20	ADN-0001	ADN-0001	GRU		5	1	1	1.886.539	1.886.539	28/07/2013	1.886.539	1.886.539	
21	UNO-0001	ADN-0001	GRU		1.288	90	20	11.889	11.889	20/02/2014	583.497	173.740	
22	PROY-0205	ALAMBRE DE PUAS 12.5 X 400	RESOL		13	0	0	345.148	345.148	30/01/2014	688.291	390.120	
23	UNO-0001	ALAMBRE NEGRO 1/8	GRU		2	2.510	2.472	6.007	6.007	29/01/2014	15.077.637	14.870.714	
24	PROY-0861	ALAMBRE NEGRO 1/8	GRU		1	1	1	125.900	125.900	20/08/2013	125.900	125.900	
25	UNO-0001	ALAMBRE NEGRO 1/8	UNO		1	1	1	35.700	35.700	31/07/2013	35.700	35.700	
26	UNO-0001	ALCALITE CORTI DIAGONAL DE 6"	UNO		1	1	1	39.270	39.270	1/09/2013	39.270	39.270	
27	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	104	104	21/07/2013	19.950.900	19.950.900	
28	PROY-0205	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		50	80	1.133	1.094	1.788	1.788	14/11/2013	2.037.010	1.532.791
29	ADN-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		2	8	8	8	8	28/02/2014	178.500	178.500	
30	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		75	1.310	1.310	269	269	20/01/2014	295.102	295.102	
31	PROY-0861	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		5	1	1	53.051	53.051	08/07/2013	848.194	0	
32	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	125.900	125.900	20/08/2013	125.900	125.900	
33	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	35.700	35.700	31/07/2013	35.700	35.700	
34	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	39.270	39.270	1/09/2013	39.270	39.270	
35	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	104	104	21/07/2013	19.950.900	19.950.900	
36	PROY-0205	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		50	80	1.133	1.094	1.788	1.788	14/11/2013	2.037.010	1.532.791
37	ADN-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		2	8	8	8	8	28/02/2014	178.500	178.500	
38	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		75	1.310	1.310	269	269	20/01/2014	295.102	295.102	
39	PROY-0861	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		5	1	1	53.051	53.051	08/07/2013	848.194	0	
40	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	125.900	125.900	20/08/2013	125.900	125.900	
41	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	35.700	35.700	31/07/2013	35.700	35.700	
42	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	39.270	39.270	1/09/2013	39.270	39.270	
43	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	104	104	21/07/2013	19.950.900	19.950.900	
44	PROY-0205	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		50	80	1.133	1.094	1.788	1.788	14/11/2013	2.037.010	1.532.791
45	ADN-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		2	8	8	8	8	28/02/2014	178.500	178.500	
46	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		75	1.310	1.310	269	269	20/01/2014	295.102	295.102	
47	PROY-0861	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		5	1	1	53.051	53.051	08/07/2013	848.194	0	
48	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	125.900	125.900	20/08/2013	125.900	125.900	
49	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	35.700	35.700	31/07/2013	35.700	35.700	
50	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	39.270	39.270	1/09/2013	39.270	39.270	
51	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	104	104	21/07/2013	19.950.900	19.950.900	
52	PROY-0205	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		50	80	1.133	1.094	1.788	1.788	14/11/2013	2.037.010	1.532.791
53	ADN-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		2	8	8	8	8	28/02/2014	178.500	178.500	
54	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		75	1.310	1.310	269	269	20/01/2014	295.102	295.102	
55	PROY-0861	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		5	1	1	53.051	53.051	08/07/2013	848.194	0	
56	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	125.900	125.900	20/08/2013	125.900	125.900	
57	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	35.700	35.700	31/07/2013	35.700	35.700	
58	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	39.270	39.270	1/09/2013	39.270	39.270	
59	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	104	104	21/07/2013	19.950.900	19.950.900	
60	PROY-0205	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		50	80	1.133	1.094	1.788	1.788	14/11/2013	2.037.010	1.532.791
61	ADN-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		2	8	8	8	8	28/02/2014	178.500	178.500	
62	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		75	1.310	1.310	269	269	20/01/2014	295.102	295.102	
63	PROY-0861	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		5	1	1	53.051	53.051	08/07/2013	848.194	0	
64	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	125.900	125.900	20/08/2013	125.900	125.900	
65	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	35.700	35.700	31/07/2013	35.700	35.700	
66	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	39.270	39.270	1/09/2013	39.270	39.270	
67	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	104	104	21/07/2013	19.950.900	19.950.900	
68	PROY-0205	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		50	80	1.133	1.094	1.788	1.788	14/11/2013	2.037.010	1.532.791
69	ADN-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		2	8	8	8	8	28/02/2014	178.500	178.500	
70	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		75	1.310	1.310	269	269	20/01/2014	295.102	295.102	
71	PROY-0861	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		5	1	1	53.051	53.051	08/07/2013	848.194	0	
72	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	125.900	125.900	20/08/2013	125.900	125.900	
73	UNO-0001	ALCALITE ELECTRICITA DE 7"	UNO		1	1	1	35.700	35.700	31/0			

Una vez estructurados, estos datos se convierten en la base fundamental para la estimación del Costo Real del proyecto, el cual es un componente clave en la metodología del Valor Ganado (EVM). A partir de estas métricas obtenidas (EV, PV, AC) de diferentes softwares (Excel, Project, Control), es posible calcular los indicadores de desempeño definidos los cuales permiten evaluar la eficiencia financiera del proyecto en función del avance físico y los costos incurridos.

Por último, en lo referente a la captura de información para el análisis de los indicadores de diagnóstico definidos en el marco de la implementación de la herramienta Last Planner System (LPS), se debe señalar que, al no contar actualmente con un software especializado para su seguimiento, se propone realizar el registro de datos mediante un formato estandarizado en una hoja de cálculo (Imagen 26). Esta plantilla ha sido diseñada con una estructura clara y validaciones integradas que permiten una recolección ordenada y confiable de la información semanal, facilitando el registro preciso de los compromisos asumidos, su nivel de cumplimiento y, en consecuencia, el cálculo del Porcentaje de Actividades Completadas (PAC).

Adicionalmente, el formato permite la parametrización dinámica de múltiples variables clave, como el número de frentes de trabajo a evaluar, los responsables asignados y la definición estandarizada de las causas de no cumplimiento (CNC). También automatiza la evaluación del cumplimiento mediante la comparación entre las cantidades programadas y ejecutadas, e incluye la posibilidad de definir la semana de análisis, las actividades liberadas para cada frente de obra, sus responsables y las cantidades previstas para ejecución.

Una vez completado, este formato es importado a Power BI, donde se procesa y analiza en función de todos los parámetros definidos. Esto permite una visualización interactiva del desempeño por semana, frente, responsable, cumplimiento, CNC o la combinación de varios parámetros, así como el seguimiento de tendencias y la identificación de áreas críticas que requieren intervención, fortaleciendo así el enfoque colaborativo y de mejora continua que busca la herramienta del Last Planner System.

Imagen 26: Formato de programación semanal de actividades, evaluación del PAC y CNC (LPS)

SEMANA	ACTIVIDAD	UNID	CANT PRO	CANT EJEC	RE	CUM	CAUSA NO CUMPLIMIENTO
50	SEMANA						
1	Instalación geomanto muro M6	UND	4	4	SF	SI	
1	Montaje riostras columnas	UND	15	10	SF	NO	PROBLEMAS SUBCONTRATO
1	Montaje peldaños gualdera superior	UND	4	0	CR	NO	PRE-REQUISITO CONTRATISTA
2	Limpeza enchape muro M2 (lavar nuevamente por mancha)	UND	17	17	CR	SI	MANEJO AMBIENTAL
2	Limpeza enchape muro cra 36b	UND	1	1	MC	SI	ACCIDENTE DE TRABAJO
2	Hidrofugado enchape muro M1 (nuevamente por mancha)	UND	1	0	MC	NO	DEFICIENCIA EN LA PROGRAMACION DE OBRA
2	Hidrofugado enchape muro M2 (nuevamente por mancha)	UND	1	0	MC	NO	DISEÑO Y/O ESPECIFICACIONES TECNICAS
2	Entregar planos de producción y montaje a la fecha	GLB	1	0	CR	NO	FACTORES ATMOSFERICOS
2	Instalación tubería CM4B-CM3	ML	21	21	OA	SI	FALTA DE FRENTE
2	Fundición cámaras CM1	UND	1	0	OA	NO	INTERVENCIÓN DEL CLIENTE
2	Fundición cámaras CM2	UND	1	0	CVV	NO	MAQUINARIA
3	Grouting pasarela 12 eje faltante	UND	1	1	CR	SI	MATERIALES
3	Reparación grouting pasarela 13 eje 5	UND	1	1	LV	SI	MANO DE OBRA
3	Terminar y entregar descanso	UND	1	0	DS	NO	PRE-REQUISITO CLIENTE
3	Montaje placas especiales prefabricadas pasarela 12	UND	1	0	MC	NO	PRE-REQUISITO CONTRATISTA
3	Formar materas plazoleta acceso	UND	4	1	MC	NO	DEFICIENCIA EN LA PROGRAMACION DE OBRA
4	Fundición escalera de acceso (costado derecho)	UND	1	1	OA	SI	
1	Instalación adoquin anden cra 36 paño caseta vigilante	PANO	1	0	SF	NO	FACTORES ATMOSFERICOS
2	Fundición bordillo calle 4B	ML	26	0	JN	NO	FACTORES ATMOSFERICOS
3	Instalación adoquin descanso gradería cli 4b	PANO	1	0	FT	NO	PRODUCTO NO CONFORME
4	Rea... cajas telecomunicaciones (cra 36b calle 4b)	UND	2	0	RM	NO	FACTORES ATMOSFERICOS
4	Rea... caja media tensión	UND	1	0	RM	NO	PRE-REQUISITO CONTRATISTA
4	Rea... cajas AP postes existentes	UND	2	2	RM	SI	

La integración de indicadores provenientes de EVM y LPS permite consolidar una visión completa y dinámica del desempeño del proyecto abordando su gestión desde múltiples enfoques tanto financieros como operativos. Esta sinergia favorece un control económico proactivo, un seguimiento preciso del avance de obra y una proyección constante de mediciones que facilitan la detección temprana de desviaciones en los indicadores clave permitiendo acciones preventivas o correctivas oportunas. En consecuencia, se reducen las deficiencias operativas y se agilizan las decisiones basadas en datos confiables.

3.3 IMPLEMENTACIÓN DE POWER BI EN EL PROCESO DE MONITOREO Y CONTROL DE OBRA

Una vez definidas las métricas e indicadores clave de desempeño (KPIs), así como la estructura de la información y la procedencia de las bases de datos —provenientes de hojas de cálculo estandarizadas para el seguimiento del LPS e ingreso del EV, así como de softwares como Control y Microsoft Project— se da paso a la integración e interoperabilidad de estos datos mediante Power BI, que actúa como herramienta central para su procesamiento, análisis y visualización interactiva.

Cabe destacar que, Power BI fue seleccionada frente a otras plataformas como Tableau o Qlik debido a varios factores estratégicos y operativos: en primer lugar, su integración nativa con el ecosistema Microsoft, ampliamente utilizado por la empresa, permite una mayor compatibilidad con herramientas como Excel, Google Sheets y Drive, facilitando flujos de trabajo colaborativos y seguros. Además, Power BI ofrece una curva de aprendizaje más accesible para usuarios no especializados, sin sacrificar potencia analítica, lo que favorece su adopción dentro de una organización con madurez digital incipiente. Su modelo de licenciamiento flexible, sus capacidades de automatización mediante Power Query y su robusta comunidad de soporte también representaron ventajas significativas frente a otras plataformas. Esta combinación de factores hizo que Power BI no solo fuera la solución más viable, sino también la más sostenible para el contexto operativo y tecnológico de la empresa.

3.3.1 Integración y procesamiento de la información (Backend)

Con Power BI, se busca centralizar la información clave del proyecto proveniente de distintas fuentes (cronograma, presupuesto, avance físico, costos reales, compromisos semanales, etc.), actores (director, residente, inspector de obra, almacenista y profesional control), programas (Excel, Project, Control) para integrarla y procesarla mediante técnicas de modelado de datos (ETL) luego, presentarla en dashboards visuales, interactivos y automatizados.

Inicialmente, se realiza la extracción de datos desde los diferentes softwares empleados en el proceso de monitoreo y control de obra. Estos son transformados y cargados en formatos compatibles con Power BI, utilizando como entorno de conexión hojas de cálculo en la nube mediante Google Sheets. Esta herramienta fue seleccionada debido a su facilidad de acceso, su integración directa con Power BI y su carácter gratuito, ya que está incluida como parte del conjunto ofimático de Google Docs Editors dentro de su servicio Google Drive asociada a las cuentas de Gmail que la empresa habilita para cada uno de sus proyectos, lo cual facilita su implementación sin incurrir en costos adicionales al proceso ni requerir licencias específicas, alineándose con las prácticas tecnológicas adoptadas por la organización.

Al integrar esta suite ofimática de productividad basada en la web con Power BI, es posible habilitar la actualización automática de la información, lo que asegura un flujo continuo de datos y agiliza el monitoreo de los indicadores de gestión del proyecto. Esta integración también permite el acceso remoto desde cualquier dispositivo, fomenta la colaboración simultánea entre múltiples usuarios, reduce los riesgos asociados a la pérdida o duplicidad de la información y mejora sustancialmente la eficiencia en la actualización, trazabilidad y gestión de los datos.

Durante la fase de transformación, se aplican procesos de limpieza, tipificación de datos, y homologación de nombres empleando la herramienta Power Query (Imagen 27), así como el establecimiento de relaciones entre tablas creando un modelo de datos tabular robusto y optimizado para su análisis. Por ejemplo, uno de los problemas más recurrentes al trabajar con bases de datos exportadas desde otros softwares fue la presencia de filas en blanco, encabezados innecesarios, columnas irrelevantes y formatos de datos inconsistentes —como fechas o números registradas o tratadas como texto—, lo que dificultaba el análisis posterior. Mediante Power Query se implementaron procesos de depuración automática que eliminaron estas filas y columnas, y se estandarizó el formato de cada campo según su tipo (texto, número o fecha). Además, para el caso específico del análisis de costos administrativos, se diseñaron reglas de filtrado que permiten seleccionar únicamente aquellos registros cuya codificación inicia con el prefijo “ADM”, garantizando así la consistencia y pertinencia de los datos utilizados para el cálculo del Costo Indirecto del proyecto.

Imagen 27: Proceso de Extracción, Transformación y Carga de los datos importados desde Google sheets para el procesamiento de la información empleando la EVM y el LPS

Proceso ETL para el EV

Ítem	VALOR GANADO (P.V.)
1	321.640.352,19
2	571.709.655,11
3	2.987.637.624,00
4	4.092.338.902,00
5	4.670.539.638,00
6	5.799.852.475,00
7	6.875.008.677,42
8	7.359.428.833,01
9	8.648.655.206,26
10	9.602.624.141,85
11	9.786.950.895,97
12	10.767.965.491,57
13	11.051.763.872,49
14	12.226.409.302,98
15	12.455.123.205,09
16	13.644.152.929,00
17	14.074.479.152,50

Proceso ETL para el PV

Año	Mes	Costo	Costo acumulado	Fecha
2023	Julio	44.683.694,48	44.683.694,49	31/07/2023
2023	Agosto	588.868.076,13	433.549.773,60	31/08/2023
2023	Septiembre	459.204.599,11	892.754.372,91	30/09/2023
2023	Octubre	659.387.972,35	1.552.142.345,23	31/10/2023
2023	Noviembre	740.296.681,34	2.292.139.706,56	30/11/2023
2023	Diciembre	693.939.440,61	2.986.278.167,17	31/12/2023
2024	Enero	772.617.550,69	3.758.895.717,86	31/01/2024
2024	Febrero	847.770.941,52	4.606.666.659,34	29/02/2024
2024	Marzo	909.712.322,76	5.516.378.982,14	31/03/2024
2024	Abril	1.005.754.610,13	6.522.133.592,23	30/04/2024
2024	Mayo	989.816.225,77	7.511.949.818,00	31/05/2024
2024	Junio	612.038.372,81	8.123.988.190,81	30/06/2024
2024	Julio	562.388.565,37	8.686.376.756,20	31/07/2024
2024	Agosto	592.210.577,35	9.278.587.333,55	31/08/2024
2024	Septiembre	379.680.577,88	9.658.267.911,44	30/09/2024
2024	Octubre	361.548.160,39	9.994.816.071,83	31/10/2024
2024	Noviembre	338.483.758,15	10.333.299.830,00	30/11/2024

Proceso ETL para el AC

Código	Descripción	Unidad	Solicitudes	Órdenes	Entradas	Salidas	Precio Bruto
ADM-001	4X3200 CUENTA ING AMANDA	GLB	---	---	23000	7	7
ADM-002	ACPM	GLB	550	2300	60,03	56,53	---
ADM-003	ACTIVACION DE PAQUETE CONTABLE SIGO	UND	64	64	3	3	---
ADM-004	AJUSTES DISEÑOS REDES HUMEDAS	GLB	5	5	2	1	---
ADM-005	ALQUILER DE BAÑO MOVIL	UND	1	1	394	394	---
ADM-006	ALQUILER EQUIPO TOPOGRAFICO	GLB	2	2	5	5	---
ADM-007	APORTES A CONSULTA	GLB	---	---	5	5	40
ADM-008	ARQUITECTO	HH	---	---	60	2	---
ADM-009	ARRIENDO CELULAR PUNTO VEO	UND	1	3	1	1	---
ADM-010	ARRIENDO DE VIVIENDA DIEGO HERNANDEZ	UND	1	1	23	23	1
ADM-011	ASESORIA JURIDICA	UND	1	1	2	2	2
ADM-012	AUTOEVALUACION ESTANDARES MINIMOS SST	GLB	5	5	2	2	1
ADM-013	AVISO LONA	UND	52	52	2	2	---
ADM-014	BARBUQUEOS 4 PUNTOS	UND	240	840	4	4	---

Proceso ETL para el PAC y CNC

SEM	FTE	ACTIVIDAD	UND	L2 CANT PROG	L2 CANT EJC	RESP	CLUMP
50	1	Suministro y siembra materias	UND	4	4	SF	SI
50	2	Instalación geomanto muro M6	ML	25	10	SF	NO
50	3	Montaje diagonales guialera superior escalera M5	UND	3	0	CR	NO
50	4	Montaje mallas costaneras	UND	4	0	CR	NO
50	1	Montaje pizaflojas guialera superior	UND	17	17	CR	SI
50	2	Función pizaflojas guialera superior	UND	17	17	CR	SI
50	2	Acarreo tierra geobags	M3	10	10	CVV	SI
50	2	Función bordillo transversal andén (de M1 a pompeyano)	UND	21	14	MIC	SI
50	2	Instalación adoquín desde muro M1 a pompeyano	PAÑOS	8	8	MIC	SI
50	2	Limpieza enchape muro M1 (usar nuevamente por mancha)	UND	1	1	MIC	SI
50	2	Limpieza enchape muro M2 (usar nuevamente por mancha)	UND	1	1	MIC	SI
50	2	Limpieza enchape muro M3 (usar nuevamente por mancha)	UND	1	1	MIC	SI
50	2	Limpieza enchape muro M4 (usar nuevamente por mancha)	UND	1	1	MIC	SI
50	2	Limpieza enchape muro cra 36b	UND	1	0	MIC	NO
50	2	Hidrofundado enchape muro M1 (nuevamente por mancha)	UND	1	0	MIC	NO
50	2	Hidrofundado enchape muro M3 (nuevamente por mancha)	UND	1	0	MIC	NO

Posteriormente, a través del lenguaje nativo DAX (Data Analysis Expressions) —generado con el apoyo de ChatGPT— se desarrollaron las medidas, se estiman los KPIs establecidos con la EVM y se realizan los cálculos necesarios para alimentar las visualizaciones dinámicas en los dashboards. Sin embargo, la utilización de inteligencia artificial en esta fase responde a una práctica emergente en procesos de transformación digital, ya que permite acelerar el desarrollo de soluciones analíticas sin comprometer la calidad técnica del resultado. No obstante, el uso del código generado no fue automático ni acrítico: cada fórmula fue revisada manualmente en el entorno de Power BI, verificando su sintaxis, lógica y resultado frente a valores de prueba

conocidos, lo cual garantizó la precisión de los cálculos y su coherencia con los criterios metodológicos del proyecto. Este proceso de validación incluyó pruebas unitarias, revisión cruzada con cálculos en Excel y ajustes iterativos hasta asegurar su correcto funcionamiento. De esta manera, la IA fue utilizada como una herramienta de apoyo que complementó el criterio técnico del desarrollador, optimizando tiempos sin sacrificar la rigurosidad analítica.

Imagen 28: Algunos DAX generados para la creación de medidas y estimación de KPIs

```

1 EAC =
2 VAR PeríodoSeleccionado = SELECTEDVALUE('DATOS'[PERÍODO])
3
4 -- Si no hay selección, buscar el último período con EV no en blanco
5 VAR ÚltimoPeríodoEV =
6     CALCULATE(
7         MAX('DATOS'[PERÍODO]),
8         FILTER(
9             'DATOS',
10            NOT ISBLANK('DATOS'[VALOR GANADO (EV)])
11        )
12    )
13 -- Usar el período seleccionado si existe, si no, usar el último válido
14 VAR PeríodoFinal =
15     IF(
16         ISBLANK(PeríodoSeleccionado),
17         ÚltimoPeríodoEV,
18         PeríodoSeleccionado
19    )
20 -- Extraer valores para ese período
21 VAR AC =
22     CALCULATE(
23         MAX('DATOS'[COSTO REAL (AC)]),
24         'DATOS'[PERÍODO] = PeríodoFinal
25    )
26 VAR BAC =
27     CALCULATE(
28         MAX('DATOS'[BAC]),
29         'DATOS'[PERÍODO] = PeríodoFinal
30    )
31 VAR EV =
32     CALCULATE(
33         MAX('DATOS'[VALOR GANADO (EV)]),
34         'DATOS'[PERÍODO] = PeríodoFinal
35    )
36 RETURN
37     IF(
38         NOT ISBLANK(EV),
39         AC + BAC - EV,
40         BLANK()
41    )

```

```

1 CostoADM =
2     IF(
3         ISFILTERED('COSTO ADM'),
4         FORMAT(
5             CALCULATE(SUM('COSTO ADM'[ Valor Salidas ]), ALLSELECTED('COSTO ADM')),
6             "$#,###"
7         )
8         & " DE " &
9         FORMAT(
10            CALCULATE(SUM('COSTO ADM'[ Valor Salidas ]), ALL('COSTO ADM')),
11            "$#,###"
12        ),
13        "Total: " &
14        FORMAT(
15            CALCULATE(SUM('COSTO ADM'[ Valor Salidas ]), ALL('COSTO ADM')),
16            "$#,###"
17        )
18    )

```

```

1 PAC_FOND =
2 VAR Act_prog = CALCULATE(COUNTROWS(PAC_SEMANAL), PAC_SEMANAL[CURP] = "SI") + CALCULATE(COUNTROWS(PAC_SEMANAL), PAC_SEMANAL[CURP] = "NO")
3 VAR Cumple = CALCULATE(COUNTROWS(PAC_SEMANAL), PAC_SEMANAL[CURP] = "SI")
4 RETURN
5     IF(Act_Prog = 0, BLANK(),
6         IF (Cumple = 0, 0,
7             DIVIDE(Cumple, Act_Prog, 0)
8         )
9     )

```

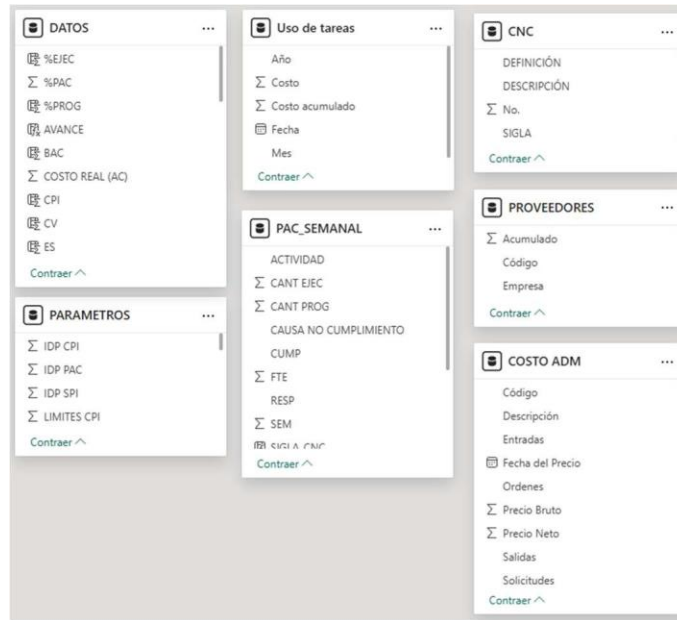
```

1 NCIC =
2 VAR Act_prog = CALCULATE(COUNTROWS(PAC_SEMANAL), PAC_SEMANAL[CURP] = "SI") + CALCULATE(COUNTROWS(PAC_SEMANAL), PAC_SEMANAL[CURP] = "NO")
3 VAR FilasFiltradas =
4     FILTER(
5         PAC_SEMANAL,
6         PAC_SEMANAL[CURP] = "NO" && NOT(ISBLANK(PAC_SEMANAL[CAUSA NO CUMPLIMIENTO]))
7     )
8 RETURN
9     DIVIDE (COUNTROWS(FilasFiltradas) / Act_prog, 0)

```

De esta manera, el backend del sistema no solo centraliza e integra la información, sino que la estructura de manera eficiente para soportar todo el proceso de análisis, visualización y control de las obras en Power BI, permitiendo un monitoreo completo, confiable y oportuno de la gestión del proyecto a través de un modelo de datos unificado.

Imagen 29: Modelo de datos generado en Power BI



3.3.2 Diseño del tablero de control (Frontend)

Una vez consolidado el backend, el siguiente paso en la construcción del sistema es el diseño del tablero de control que constituye la interfaz visual a través de la cual los usuarios interactúan con la información del proyecto. El objetivo fundamental del frontend es transformar los datos procesados en representaciones gráficas claras, simples e intuitivas, que permitan a los diferentes actores del proyecto —gerente, director, residente— interpretar ágilmente el estado y desempeño de la obra para tomar decisiones oportunas que permitan ajustar el plan de trabajo y asegurar el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Siguiendo los lineamientos de Michael (2022), la elaboración del dashboard contempla las siguientes etapas:

- **Establecimiento de la audiencia y el propósito:** Se identificó como audiencia principal a los líderes de obra y el gerente de la empresa, cuyo propósito es realizar un seguimiento eficiente a indicadores clave como cronograma, avance físico-financiero, costos y compromisos semanales.

- **Definición de métricas:** Los indicadores seleccionados están alineados directamente con los objetivos de control del proyecto, priorizando la calidad sobre la cantidad, para evitar saturar el tablero con datos irrelevantes.
- **Catalogación de fuentes de datos:** Se establecieron las fuentes principales (Excel, Project, Control) y se aseguraron mecanismos de actualización automática con Google Sheets, garantizando así la vigencia de la información desplegada.
- **Definición de dimensiones y filtros:** Desde la etapa de diseño, se consideraron dimensiones como fecha, frente de obra, responsable, proveedor, tipo de actividad o indicador en los diferentes tableros, incorporando filtros dinámicos que permiten a los usuarios personalizar las visualizaciones de acuerdo con sus necesidades de análisis.

También, el diseño del dashboard sigue los principios propuestos por Few (2006), enfocados en lograr una comunicación visual efectiva de la información:

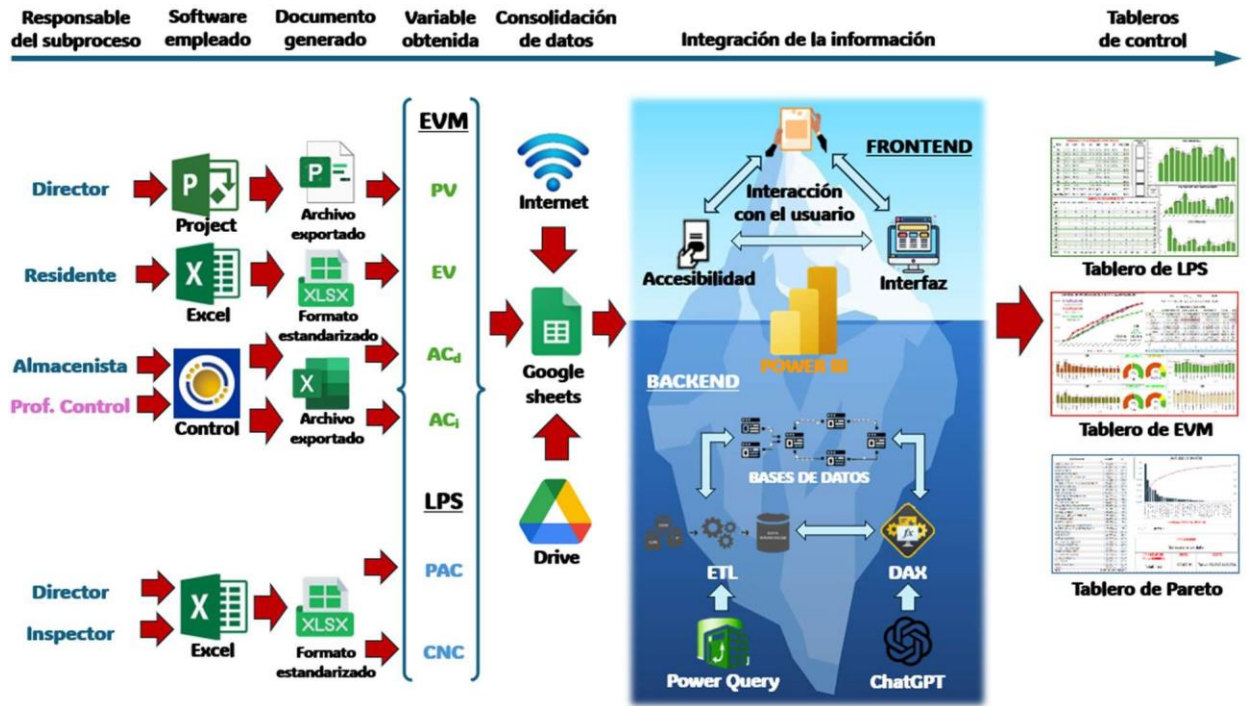
- **Simplicidad y usabilidad:** El tablero se estructuró para mostrar únicamente los datos necesarios, presentándolos de forma esquemática, evitando la sobrecarga de información o elementos gráficos innecesarios. Cada visualización cumple una función específica en el análisis.
- **Punto de vista:** Se diseñaron vistas explicativas, orientadas a resumir el estado actual del proyecto, y vistas exploratorias, que permiten al usuario profundizar en el análisis de desviaciones, avances y costos.
- **Estructura:** Se adoptó una estructura de flujo, permitiendo al usuario seguir una secuencia lógica de interpretación de indicadores desde el panorama general hasta los detalles específicos.
- **Personalización:** Se incluyeron focos de atención (tarjetas de KPIs destacados), módulos independientes (avance físico, avance financiero, control de costos, compromisos semanales) y llamadas a la acción en caso de alertas o desvíos críticos.
- **Uso del color, tipografía y anotaciones:** Se aplicó una paleta de colores coherente con los principios de visualización de datos (por ejemplo, verde para cumplimiento, amarillo para advertencias, rojo para alertas), tipografías claras y mínimas anotaciones que orientan al usuario sin saturar el espacio visual.

- **Interactividad y contextualización:** El dashboard es interactivo, permitiendo explorar diferentes periodos, frentes de obra, responsables, indicadores y tipos de actividades. Además, cada visualización incluye información contextual mínima para facilitar su interpretación inmediata.

A partir de las recomendaciones de Nadelhoffer (2020), se evitaron errores comunes como la complejidad excesiva, el uso de métricas poco comprensibles, la sobrecarga gráfica y la dependencia de tecnologías complejas, permitiendo un desarrollo basado en ciclos cortos de prototipado y retroalimentación, asegurando un producto útil, ágil y adaptable a las necesidades reales de los usuarios. Posteriormente, con el diseño del frontend, se consolida una herramienta de monitoreo y control integral que permite visualizar de forma rápida y precisa el estado de avance y desempeño del proyecto, alineando a todos los actores bajo una misma fuente confiable de información.

Finalmente, al consolidar tanto el *frontend* como el *backend* del proceso de monitoreo y control mediante herramientas tecnológicas de análisis de datos y visualización interactiva, se estableció un flujo de trabajo optimizado que permite generar y proyectar la información conforme a la metodología propuesta (Imagen 30). Anteriormente, la consolidación, transformación y procesamiento de los datos necesarios para la elaboración de informes gerenciales demandaba aproximadamente un día y medio de trabajo, debido a la ejecución manual de tareas como la recopilación de archivos, la transcripción de información entre herramientas, el ajuste de formatos, la conexión manual entre documentos y la formulación de indicadores, ahora, con la implementación del modelo automatizado basado en flujos ETL desarrollados en Power Query e integrados en Power BI, este proceso se redujo a cuestión de segundos, permitiendo la generación inmediata de reportes actualizados. Esta automatización no solo eliminó redundancias operativas como la duplicidad de archivos, la gestión de múltiples versiones y el doble procesamiento de datos, sino que también aseguró la trazabilidad, consistencia e integridad de la información. Como resultado, se fortaleció la calidad de los datos y se logró una gestión más ágil, precisa y transparente, con acceso en tiempo real para todos los niveles de la organización.

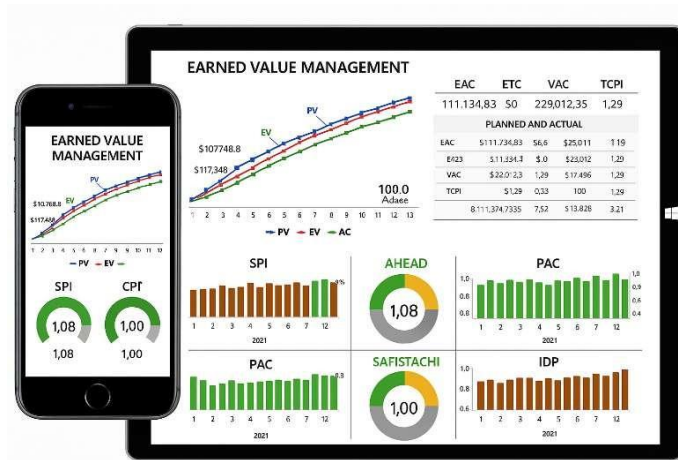
Imagen 30: Flujo de trabajo diseñado para el proceso de monitoreo y control de obra empleando Power BI integrado con el EVM y el LPS



k

Por otra parte, el informe es publicado en el servicio de Power BI (Power BI Service), lo que permite su acceso en línea desde cualquier equipo con permisos definidos por rol (gerencial, administrativo, técnico) permitiendo la actualización de datos programada de manera automática o manual según el flujo de trabajo del proyecto. Además, el frontend se diseña y optimiza para su visualización en dispositivos móviles, permitiendo un acceso ágil, intuitivo y adaptado a diferentes tamaños de pantalla. Esta funcionalidad ofrece ventajas significativas como la posibilidad de monitorear en tiempo real el avance del proyecto desde cualquier lugar, facilitar la toma de decisiones rápida en campo o en reuniones, mejorar la comunicación entre los equipos de trabajo y asegurar que la información crítica esté siempre disponible a través de la aplicación móvil de Power BI, aumentando así la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta del equipo de gestión.

Imagen 31: Visualización de los tableros en los diferentes dispositivos



Nota: Imagen de referencia generada con IA

3.3.3 Evaluación del proceso automatizado

Una vez verificada la funcionalidad del proceso implementado mediante la herramienta de análisis y visualización de datos Power BI, se evalúa su eficiencia considerando factores como el tiempo de ejecución del nuevo proceso, la cantidad de recursos tecnológicos utilizados, los costos asociados, el personal involucrado y su nivel de dedicación, así como la organización de la información para su uso y consulta.

Por último, realizadas las pruebas al nuevo proceso, se comparan los resultados obtenidos con el proceso inicial (Tabla 6 y Tabla 7), identificando las mejoras como la reducción del tiempo, el uso de recursos y la organización de la información, evaluando así su eficiencia global. En resumen, los resultados fueron los siguientes:

PROCEDIMIENTO	SUBPROCESO						DURACIÓN PROCEDIMIENTO (HRS)	INCIDENCIA POR PROCEDIMIENTO
	SP1 PV	SP2 EV	SP3 CD	SP4 LPS	SP5 CI/AC	SP6 KPI		
Acción		8,5	12,5	3	4		28	56,11%
Decisión	0,2						0,2	0,40%
Documento	11	5	4	0,5			20,5	41,08%
E. o S. de datos	0,2	0,1	0,2	0,1			0,6	1,20%
Base de datos	0,2	0,1	0,2	0,1			0,6	1,20%
Consolidación y arch.							0	0,00%
DURACIÓN SUBPROCESO (HRS)	11,6	13,7	16,9	3,7	4,0	0,0	49,9	100%
INCIDENCIA POR SUBPROCESO	23,25%	27,45%	33,87%	7,41%	8,02%	0,00%	100%	

Tabla 13: Resumen duración de los procedimientos y subprocesos de monitoreo y control de obras implementando Power BI

PROCEDIMIENTO	SUBPROCESO 1		SUBPROCESO 2		SUBPROCESO 3		SUBPROCESO 4		SUBPROCESO 5		SUBPROCESO 6		COSTO PROCEDIMIENTO	INCIDENCIA POR PROCED.
	COSTO RH	COSTO TI	COSTO RH	COSTO TI	COSTO RH	COSTO TI	COSTO RH	COSTO TI	COSTO RH	COSTO TI	COSTO RH	COSTO TI		
Acción	\$ -	\$ -	\$ 178.500	\$ -	\$ 251.250	\$ 6.000	\$ 135.000	\$ -	\$ 75.000	\$ 6.000	\$ -	\$ -	\$ 651.750	49,30%
Decisión	\$ 7.875	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 7.875	0,60%
Documento	\$ 382.500	\$ 13.000	\$ 105.000	\$ 5.750	\$ 90.000	\$ 4.600	\$ 22.500	\$ 575	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 623.925	47,20%
E. o S. de datos	\$ 7.875	\$ 650	\$ 2.100	\$ 325	\$ 3.750	\$ 650	\$ 4.500	\$ 325	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 20.175	1,53%
Base de datos	\$ 7.875	\$ 9	\$ 2.100	\$ 5	\$ 3.750	\$ 9	\$ 4.500	\$ 5	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 18.252	1,38%
Consolidación y arch.	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	0,00%
COSTO SUBPROCESO	\$ 406.125	\$ 13.659	\$ 287.700	\$ 6.080	\$ 348.750	\$ 11.259	\$ 166.500	\$ 905	\$ 75.000	\$ 6.000	\$ -	\$ -	\$ 1.321.977	100%
INCIDENCIA POR SUBPROCESO	31,75%		22,22%		27,23%		12,66%		6,13%		0,00%		100%	

Tabla 14: Resumen costos de recursos humanos y TI de los procedimientos y subprocesos de monitoreo y control de obras implementando Power BI

Imagen 32: Costos por subproceso

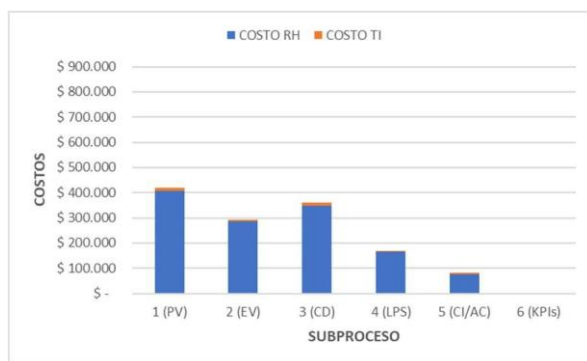


Imagen 33: Costos por procedimiento

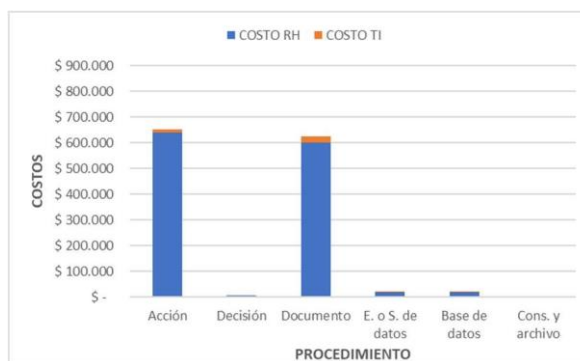


Imagen 34: Duración por subproceso

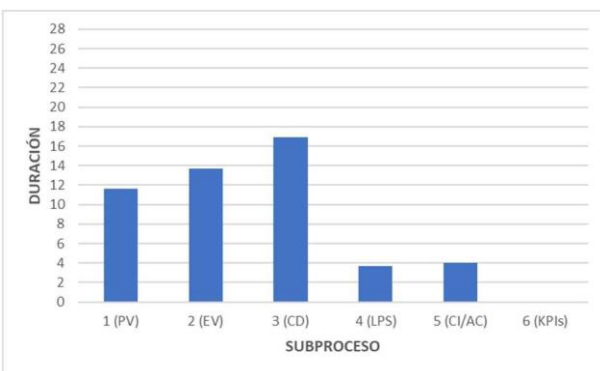
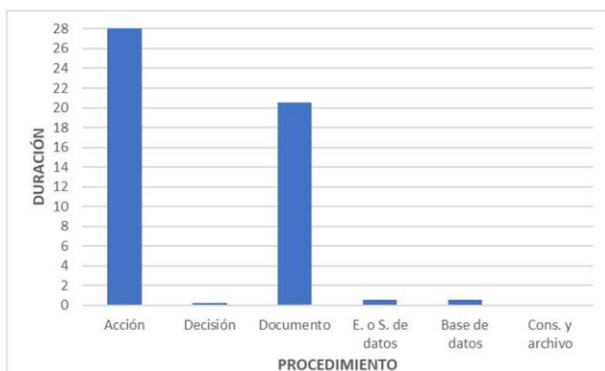


Imagen 35: Duración por procedimiento



En la evaluación de la eficiencia y recursos utilizados en el proceso de monitoreo y control de obras de la empresa Anfer Ingeniería S.A.S. implementando herramientas de análisis de datos y visualización interactiva, se evidencia lo siguiente:

1. La duración total del proceso es de aproximadamente 49,9 horas semanales.
2. El costo semanal del proceso asciende a \$1.321.977 COP (para el año 2024).
3. De este valor, \$1.284.075 COP (equivalente al 97,13%) corresponden a costos asociados al recurso humano.
4. El procedimiento que representa el mayor costo dentro del proceso corresponde a las acciones.
5. El Subproceso con mayor impacto económico es la actualización del presupuesto (balance de obra) y del cronograma (reprogramaciones).
6. El procedimiento de mayor duración es también las acciones operativas, principalmente cortes de obra y mediciones.
7. El subproceso que demanda mayor tiempo es la determinación del costo real directo de la obra.

Con la implementación de herramientas de análisis de datos y visualización interactiva como Power BI, el proceso de monitoreo y control del proyecto en la empresa Anfer Ingeniería S.A.S. ha experimentado un notable avance en su nivel de digitalización. Ahora, las bases de datos generadas en otros softwares como Excel, Project y Control son importadas, transformadas y

conectadas automáticamente mediante Power Query, lo que reduce la necesidad de digitación manual y mitiga los errores humanos. Este entorno digital permite integrar y sincronizar la información en tiempo real, estableciendo una trazabilidad y centralizando los datos clave del proyecto.

En cuanto a la precisión de los datos, la automatización de la captura y consolidación de información elimina los errores derivados de la duplicidad, omisiones o inconsistencias que anteriormente surgían al trabajar con múltiples hojas de cálculo independientes. La implementación de un modelo de datos tabular en Power BI asegura la coherencia en los cálculos y permite la validación cruzada entre tablas relacionadas, elevando así la calidad y confiabilidad de la información disponible. Además, la capacidad de Power BI para auditar el origen y las transformaciones de cada dato añade un control adicional que fortalece la seguridad en la gestión de la información basada en datos verificados.

Respecto a la accesibilidad, la integración de datos provenientes de distintas fuentes en un entorno colaborativo como Google Sheets elimina la dependencia de flujos informales de información, como correos electrónicos o archivos compartidos de forma aislada, permitiendo el acceso de forma ágil y segura desde cualquier ubicación a todos los actores del proyecto, desde la alta gerencia hasta los equipos operativos, facilitando la actualización y retroalimentación dinámica de los datos.

Ahora, la información sobre el avance físico, financiero y los principales indicadores de desempeño está disponible de manera inmediata, permitiendo la detección temprana de desviaciones y facilitando la implementación oportuna de acciones correctivas. La visualización interactiva mediante dashboards no solo agiliza la lectura de datos críticos, sino que también permite identificar tendencias y riesgos potenciales, impulsando una gestión proactiva. De esta forma, la incorporación de tecnologías de análisis y visualización no solo ha acelerado la generación de reportes, sino que ha optimizado la capacidad de anticipación y respuesta ante contingencias, fortaleciendo la gestión del proyecto.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez implementado el modelo de monitoreo y control de obra automatizado mediante Power BI, integrando datos estructurados desde múltiples fuentes como hojas de cálculo estandarizadas, el software Control y Microsoft Project, se procedió a evaluar de forma comparativa el desempeño del nuevo sistema respecto al proceso tradicional empleado por la empresa Anfer Ingeniería S.A.S. Este capítulo presenta los hallazgos, análisis cuantitativos y cualitativos, así como los aportes derivados de la automatización y recomendaciones para futuras aplicaciones.

4.1 COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS

Para evaluar el impacto de la implementación de la herramienta Power BI y el rediseño del proceso, se empleó una metodología comparativa basada en los siguientes criterios:

- Duración de los subprocesos
- Costos operativos asociados (recurso humano y tecnología)
- Interoperabilidad e integración entre plataformas

La evaluación se lleva a cabo mediante la comparación de los resultados obtenidos en cada subproceso antes y después de la intervención tecnológica. Para ello se utilizaron los registros consignados en la Tabla 6 y Tabla 7 para el escenario previo y la Tabla 13 y Tabla 14 para el escenario posterior. Esta comparación se fundamentó en un diagnóstico inicial del proceso, que incluyó entrevistas con los responsables de cada subproceso y la medición de los tiempos de ejecución asociados a cada procedimiento. Posteriormente, tras la implementación de las herramientas de análisis de datos y visualización interactiva, se registraron nuevamente los datos obtenidos mediante simulaciones para determinar las mejoras alcanzadas en términos de eficiencia, costos y articulación tecnológica.

		RESUMEN						
EMPRESA:	Anfer Ingeniería S.A.S.	PROCEDIMIENTO		DURACIÓN (HRS)			COSTO HUMANO	COSTO TI
TIPO DE OBRA:	Complejidad alta	ACTUAL	RECOMEND.	AHORRO				
PROCESO:	Monitoreo y control de obra	Acción						
SUBPROCESO:	Valor Planeado	Decisión	0,2	0,2	0	\$ 7.875	\$ -	
UBICACIÓN:	Obra	Documento	12	4	8	\$ 427.500	\$ 14.500	
COMENTARIOS:	Se evalúa la eficiencia del proceso de monitoreo y control de obra para la etapa de recopilación de la información del Valor Planeado	E. o S. de datos	0,2	0,2	0	\$ 7.875	\$ 650	
		Base de datos	0,2	0,2	0	\$ 7.875	\$ 9	
		TOTAL	12,6	4,6	8	\$ 451.125	\$ 15.159	

ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTO	Dur. (hrs)	HERRAM.	RESP.	COSTO	RECURSO	RECOMENDACIÓN
Ajustar el presupuesto		0,1	Comités y bitácora	Residente de obra	\$ 3.375	Prof. con prest. sociales	
Actualizar presupuesto (balance de obra e INPs)		10	SAGUT y/o excel	Residente de obra	\$ 349.000	Prof. con prest. + software/mes + eq.	Emplear BIM para actualizar el ppto
Enviar presupuesto		0,1	Correo electrónico	Residente de obra	\$ 3.700	Prof. con prest. + internet + equipos	
Archivo base de datos		0,1	Drive/gmail	Residente de obra	\$ 3.380	Prof. + suscrip./mes	
Ajustar el cronograma		0,1	Comités y bitácora	Director de obra	\$ 4.500	Prof. con prest. sociales	
Actualizar cronograma		2	Ms. Project y/o excel	Director de obra	\$ 93.000	Prof. con prest. + software/mes + eq.	Emplear modelos 5D para actualizar el cron.
Enviar cronograma		0,1	Correo electrónico	Director de obra	\$ 4.825	Prof. con prest. + internet + equipos	
Archivo base de datos		0,1	Drive	Director de obra	\$ 4.505	Prof. + suscrip./mes	

TOTAL	12,6	\$ 466.284
--------------	-------------	-------------------

Tabla 15: Subproceso de generación del valor planeado en el proceso de monitoreo y control de obra actual

		RESUMEN						
EMPRESA:	Anfer Ingeniería S.A.S.	PROCEDIMIENTO		DURACIÓN (HRS)			COSTO HUMANO	COSTO TI
TIPO DE OBRA:	Complejidad alta	ACTUAL	PROPUESTA	AHORRO				
PROCESO:	Monitoreo y control de obra	Acción						
SUBPROCESO:	Valor Planeado	Decisión	0,2	0,2	0	\$ 7.875	\$ -	
UBICACIÓN:	Obra	Documento	12	11	1	\$ 382.500	\$ 13.000	
COMENTARIOS:	Se evalúa la eficiencia del proceso de monitoreo y control de obra para la etapa de recopilación de la información del Valor Planeado	E. o S. de datos	0,2	0,2	0	\$ 7.875	\$ 650	
		Base de datos	0,2	0,2	0	\$ 7.875	\$ 9	
		TOTAL	12,6	11,6	1	\$ 406.125	\$ 13.659	

ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTO	Dur. (hrs)	HERRAM.	RESP.	COSTO	RECURSO	PROPUESTA
Ajustar el presupuesto		0,1	Comités y bitácora	Residente de obra	\$ 3.375	Prof. con prest. sociales	
Actualizar presupuesto (balance de obra e INPs)		10	SAGUT y/o excel	Residente de obra	\$ 349.000	Prof. con prest. + software/mes + eq.	
Enviar presupuesto		0,1	Correo electrónico	Residente de obra	\$ 3.700	Prof. con prest. + internet + equipos	
Archivo base de datos		0,1	Drive/gmail	Residente de obra	\$ 3.380	Prof. + suscrip./mes	Documento cargado a google sheets
Ajustar el cronograma		0,1	Comités y bitácora	Director de obra	\$ 4.500	Prof. con prest. sociales	
Actualizar cronograma		1	Ms. Project y/o excel	Director de obra	\$ 46.500	Prof. con prest. + software/mes + eq.	Documento exportado desde Project
Enviar cronograma		0,1	Correo electrónico	Director de obra	\$ 4.825	Prof. con prest. + internet + equipos	
Archivo base de datos		0,1	Drive	Director de obra	\$ 4.505	Prof. + suscrip./mes	Documento cargado a Google sheets

TOTAL	11,6	\$ 41G.784
--------------	-------------	-------------------

Tabla 16: Subproceso de generación del valor planeado en el proceso de monitoreo y control de obra con Power BI

El análisis del subproceso de generación del Valor Planeado, métrica clave dentro de la metodología de Valor Ganado evidencia un impacto operativo limitado derivado de la implementación de herramientas de visualización como Power BI. La principal mejora identificada se traduce en una reducción aproximada de una hora en el procedimiento de actualización del cronograma, gracias a la exportación de datos desde Microsoft Project, lo que elimina la necesidad de procesamiento intermedio mediante hojas de cálculo manuales.

Sin embargo, se identificó una mejora relevante en la trazabilidad del cronograma, al permitir conservar versiones históricas del Valor Planeado directamente en Power BI. Esta funcionalidad facilita el análisis comparativo entre periodos, incrementa la transparencia del seguimiento temporal del proyecto y fortalece la toma de decisiones al ofrecer una visión más estructurada de la evolución del cronograma a lo largo del tiempo, aspecto que tradicionalmente requería un mayor esfuerzo documental en formatos manuales.

Este impacto, aunque positivo, es acotado debido a que Power BI no participa en la estructuración ni en la actualización del cronograma maestro del proyecto, funciones que continúan ejecutándose dentro de entornos especializados como Microsoft Project. En esta configuración, Power BI opera únicamente como una plataforma de análisis y visualización, cuyo valor se materializa una vez los datos han sido previamente organizados y validados. Actualmente, dicha información puede ser extraída, transformada y cargada (ETL) directamente desde Microsoft Project hacia Power BI, lo que permite su análisis interactivo y dinámico sin requerir manipulaciones manuales adicionales en Excel para la estimación del flujo de caja del proyecto. Esta automatización representa una mejora puntual en eficiencia, aunque sin un impacto significativo en la duración total ni en los costos del subproceso.

Cabe resaltar que una transformación más profunda de este subproceso podría lograrse mediante la adopción de metodologías como Building Information Modeling (BIM) y el desarrollo de modelos 5D, los cuales posibilitan la integración dinámica y automatizada entre cronograma y presupuesto, optimizando simultáneamente la planeación temporal y

financiera del proyecto. Sin embargo, estas metodologías no se encuentran dentro del alcance de la presente investigación, que se limita al análisis, estructuración y visualización de indicadores de gestión a partir de información previamente consolidada, empleando herramientas como Power BI. Aun así, tales metodologías se incorporan como recomendaciones estratégicas en el diseño de un sistema de monitoreo y control más robusto, tal como se señala en la Tabla 15 en la columna correspondiente a mejoras propuestas.

Adicionalmente, se destaca un avance relevante en términos de interoperabilidad: en la actualidad, el archivo con el cronograma exportado desde Microsoft Project se carga directamente a Google Sheets en lugar de enviar por correo electrónico el archivo organizado manualmente en una hoja de cálculo. Aunque esta acción no implica una mejora cuantificable en tiempos o costos —dado que el tiempo requerido para cargar el archivo es comparable al de enviarlo por correo—, constituye un paso clave hacia la estandarización, transparencia y trazabilidad del flujo de información, facilitando la posterior aplicación de procesos ETL y mejorando la conectividad entre las plataformas empleadas en el monitoreo y control de proyectos.

		RESUMEN						
EMPRESA:	Anfer Ingeniería S.A.S.			DURACIÓN (HRS)				
TIPO DE OBRA:	Complejidad alta	PROCEDIMIENTO	ACTUAL	RECOMEND.	AHORRO	COSTO HUMANO	COSTO TI	
PROCESO:	Monitoreo y control de obra	Acción	8,5	4	4,5	\$ 178.500	\$ -	
SUBPROCESO:	Valor Ganado	Decisión						
UBICACIÓN:	Obra	Documento	5	3	2	\$ 105.000	\$ 5.750	
COMENTARIOS:	Se evalúa la eficiencia del proceso de monitoreo y control de obra para la etapa de recopilación de la información del Valor Ganado	E. o S. de datos	0,1	0,1	0	\$ 2.100	\$ 325	
		Base de datos	0,1	0,1	0	\$ 2.100	\$ 5	
		TOTAL	13,7	7,2	6,5	\$ 287.700	\$ 6.080	

ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTO	Dur. (hrs)	HERRAM.	RESP.	COSTO	RECURSO	RECOMENDACIÓN
Medición de actividades ejecutadas		8,5	Eq. Top., cinta, planos	Inspector de obra	\$ 178.500	Prof. + Ayud. con prest. sociales	Emplear BIM y tablets para actualizar corte
Organizar y procesar la información		5	Excel	Inspector de obra	\$ 110.750	Prof. con prest. + software/mes + eq.	Param. hoja cálculo y emplear Power BI
Enviar corte de obra		0,1	Correo electrónico	Inspector de obra	\$ 2.425	Prof. con prest. + internet + equipos	
Archivo base de datos		0,1	Drive/gmail	Inspector de obra	\$ 2.105	Prof. + suscrip./mes	

TOTAL	13,7	\$ 2G3.780
--------------	-------------	-------------------

Tabla 17: Subproceso de generación del valor ganado en el proceso de monitoreo y control de obra actual

		RESUMEN						
EMPRESA:	Anfer Ingeniería S.A.S.			DURACIÓN (HRS)			COSTO HUMANO	COSTO TI
TIPO DE OBRA:	Complejidad alta	PROCEDIMIENTO	ACTUAL	PROPUESTA	AHORRO			
PROCESO:	Monitoreo y control de obra	Acción	8,5	8,5	0	\$ 178.500	\$ -	
SUBPROCESO:	Valor Ganado	Decisión						
UBICACIÓN:	Obra	Documento	5	5	0	\$ 105.000	\$ 5.750	
COMENTARIOS:	Se evalúa la eficiencia del proceso de monitoreo y control de obra para la etapa de recopilación de la información del Valor Ganado	E. o S. de datos	0,1	0,1	0	\$ 2.100	\$ 325	
		Base de datos	0,1	0,1	0	\$ 2.100	\$ 5	
		TOTAL	13,7	13,7	0	\$ 287.700	\$ 6.080	

ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTO	Dur. (hrs)	HERRAM.	RESP.	COSTO	RECURSO	PROPUESTA
Medición de actividades ejecutadas		8,5	Eq. Top., cinta, planos	Inspector de obra	\$ 178.500	Prof. + Ayud. con prest. sociales	
Organizar y procesar la información		5	Excel	Inspector de obra	\$ 110.750	Prof. con prest. + software/mes + eq.	
Enviar corte de obra		0,1	Correo electrónico	Inspector de obra	\$ 2.425	Prof. con prest. + internet + equipos	
Archivo base de datos		0,1	Drive/gmail	Inspector de obra	\$ 2.105	Prof. + suscrip./mes	Documento cargado a Google sheets
TOTAL		13,7			\$ 283.780		

Tabla 18: Subproceso de generación del valor ganado en el proceso de monitoreo y control de obra con Power BI

En el análisis del subproceso correspondiente a la generación del Valor Ganado no se evidenció un impacto significativo derivado de la implementación de herramientas de análisis de datos como Power BI. Esta limitación se debe a la naturaleza manual y dependiente del recurso humano con la que aún se ejecuta este procedimiento en la práctica. Lo anterior evidencia la necesidad de avanzar hacia la automatización desde el origen del proceso, es decir, desde la captura de los datos, y no únicamente en las etapas de análisis y procesamiento, con el fin de garantizar una trazabilidad completa, reducir la intervención manual y mejorar la eficiencia y confiabilidad del seguimiento del desempeño del proyecto.

Actualmente, el inspector de obra realiza el levantamiento de cantidades ejecutadas de manera análoga en campo, registrando las mediciones en formatos físicos que posteriormente deben ser transcritos manualmente a hojas de cálculo para la estimación del avance y la elaboración del corte de obra. Este enfoque representa una barrera estructural que restringe el potencial de optimización que pueden ofrecer las plataformas de visualización interactiva. En este escenario, Power BI actúa únicamente como una herramienta de análisis posterior, sin incidencia directa sobre los procesos críticos de captura ni sobre las transformaciones iniciales de los datos. Su contribución, por tanto, se limita a la representación gráfica y al análisis de información previamente consolidada, sin modificar ni agilizar las etapas de obtención y procesamiento primario de los datos.

En este contexto, si bien la presente investigación no contempla la implementación de soluciones tecnológicas para la captura automatizada de datos, se recomienda como estrategia de mejora la incorporación de dispositivos móviles con conectividad en campo (como tablets), que permitan el registro directo de las cantidades ejecutadas en un formato digital estructurado, correspondiente a la memoria de cantidades de obra. Esta práctica agilizaría el flujo de datos desde su origen, reduce los errores derivados de la transcripción manual, mejora la calidad de los registros y facilita su integración con plataformas de análisis como Power BI a través de procesos ETL.

De igual forma, se identificó que una mejora sustancial del subproceso requeriría la adopción de metodologías como Building Information Modeling (BIM) ya que, al estructurar la información bajo estos modelos, se puede generar la interoperabilidad de los datos con la herramienta Power BI, generando modelos 4D y 5D que permiten vincular la dimensión tridimensional del proyecto con variables temporales y de costos. Con esta integración es posible generar cortes de obra de forma automatizada y dinámica, reduciendo significativamente los tiempos operativos y mejorando la trazabilidad tanto del avance físico como financiero de la obra.

No obstante, tanto la digitalización del proceso de captura en campo como la implementación de modelos BIM superan el alcance definido para esta investigación, que se limita al análisis y visualización de información previamente estructurada mediante Power BI. Por tanto, dichas estrategias se proponen como lineamientos prospectivos para futuras investigaciones orientadas a la transformación digital integral del proceso de monitoreo y control de obras de la empresa.

Finalmente, es relevante señalar un avance en términos de interoperabilidad: actualmente, la información relacionada con el Valor Ganado se consolida directamente en una hoja de cálculo compartida mediante Google Sheets, eliminando el intercambio fragmentado de archivos por correo electrónico. Si bien esta medida no genera una mejora cuantificable en términos de tiempo

ni de costos —ya que el tiempo requerido para enviar un correo es similar al de cargar la información en la nube—, representa un paso significativo hacia la estandarización, transparencia y trazabilidad del flujo de información, y sienta las bases para la futura automatización de procesos mediante herramientas de integración de datos.

		RESUMEN						
EMPRESA:	Anfer Ingeniería S.A.S.	PROCEDIMIENTO		DURACIÓN (HRS)			COSTO HUMANO	COSTO TI
TIPO DE OBRA:	Complejidad alta	ACTUAL	RECOMEND.	AHORRO				
PROCESO:	Monitoreo y control de obra	Acción	12,5	7	5,5	\$ 251.250	\$ 6.000	
SUBPROCESO:	Costo Real directo	Decisión						
UBICACIÓN:	Obra	Documento	4	3	1	\$ 90.000	\$ 4.600	
COMENTARIOS: Se evalúa la eficiencia del proceso de monitoreo y control de obra para la etapa de recopilación de la información del Costo Real directo	E. o S. de datos		0,2	0,2	0	\$ 3.750	\$ 650	
	Base de datos		0,2	0,2	0	\$ 3.750	\$ 9	
	TOTAL		16,9	10,4	6,5	\$ 348.750	\$ 11.259	

ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTO	Dur. (hrs)	HERRAM.	RESP.	COSTO	RECURSO	RECOMENDACIÓN
Medición de actividades ejecutadas por Subcont.		8,5	Eq. Top., cinta, planos	Inspector de obra	\$ 191.250	Prof. + Ayud. con prest. sociales	Emplear BIM y tablets para actualizar corte
Organizar y procesar la información		4	Excel	Inspector de obra	\$ 94.600	Prof. con prest. + software/mes + eq.	Param. hoja cálculo y emplear Power BI
Enviar corte de subcontratistas		0,1	Correo electrónico	Inspector de obra	\$ 2.575	Prof. con prest. + internet + equipos	
Archivo base de datos		0,1	Drive/gmail	Inspector de obra	\$ 2.255	Prof. + suscrip./mes	
Registrar entradas y salidas del almacén		4	Control Mastersoft	Almacenista	\$ 66.000	Prof. con prest. + software/mes + eq.	Emplear BIM y tablets para actualizar corte
Enviar inventario actualizado		0,1	Correo electrónico	Almacenista	\$ 1.825	Prof. con prest. + internet + equipos	
Archivo base de datos		0,1	Drive	Almacenista	\$ 1.505	Prof. + suscrip./mes	
TOTAL		16,6			\$ 360.000		

Tabla 19: Subproceso de generación del costo real directo en el proceso de monitoreo y control de obra actual

		RESUMEN						
EMPRESA:	Anfer Ingeniería S.A.S.	PROCEDIMIENTO		DURACIÓN (HRS)			COSTO HUMANO	COSTO TI
TIPO DE OBRA:	Complejidad alta	ACTUAL	PROPUESTA	AHORRO				
PROCESO:	Monitoreo y control de obra	Acción	12,5	12,5	0	\$ 251.250	\$ 6.000	
SUBPROCESO:	Costo Real directo	Decisión						
UBICACIÓN:	Obra	Documento	4	4	0	\$ 90.000	\$ 4.600	
COMENTARIOS: Se evalúa la eficiencia del proceso de monitoreo y control de obra para la etapa de recopilación de la información del Costo Real directo	E. o S. de datos		0,2	0,2	0	\$ 3.750	\$ 650	
	Base de datos		0,2	0,2	0	\$ 3.750	\$ 9	
	TOTAL		16,9	16,9	0	\$ 348.750	\$ 11.259	

ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTO	Dur. (hrs)	HERRAM.	RESP.	COSTO	RECURSO	PROPUESTA
Medición de actividades ejecutadas por Subcont.		8,5	Eq. Top., cinta, planos	Inspector de obra	\$ 191.250	Prof. + Ayud. con prest. sociales	
Organizar y procesar la información		4	Excel	Inspector de obra	\$ 94.600	Prof. con prest. + software/mes + eq.	
Enviar corte de subcontratistas		0,1	Correo electrónico	Inspector de obra	\$ 2.575	Prof. con prest. + internet + equipos	
Archivo base de datos		0,1	Drive/gmail	Inspector de obra	\$ 2.255	Prof. + suscrip./mes	Documento cargado a Google sheets
Registrar entradas y salidas del almacén		4	Control Mastersoft	Almacenista	\$ 66.000	Prof. con prest. + software/mes + eq.	
Enviar inventario actualizado		0,1	Correo electrónico	Almacenista	\$ 1.825	Prof. con prest. + internet + equipos	
Archivo base de datos		0,1	Drive	Almacenista	\$ 1.505	Prof. + suscrip./mes	Documento cargado a Google sheets
TOTAL		16,6			\$ 360.000		

Tabla 20: Subproceso de generación del costo real directo en el proceso de monitoreo y control de obra con Power BI

En la evaluación del subproceso correspondiente a la consolidación de los costos reales directos de obra, se identifica que la implementación de Power BI no genera mejoras sustanciales en términos de eficiencia operativa ni en la reducción del tiempo requerido para la ejecución del procedimiento. Esta limitación se debe, fundamentalmente, a que las etapas críticas del proceso — como el levantamiento de cantidades ejecutadas por parte de subcontratistas y la recopilación de los costos operativos asociados— continúan desarrollándose de forma manual, descentralizada y sin integración con sistemas de captura automatizada.

Sin embargo, contar con los datos de costos reales extraídos directamente del software de gestión financiera de la empresa habilita nuevas capacidades analíticas. Por ejemplo, Power BI facilita la aplicación de análisis de tipo Pareto a través de dashboard diseñados específicamente para el proceso, lo que permite identificar visualmente los subcontratistas o proveedores que concentran el mayor porcentaje de los costos, así como detectar tendencias relevantes en el comportamiento del gasto. Esta funcionalidad enriquece el monitoreo financiero del proyecto, fortalece las decisiones estratégicas y abre oportunidades para la optimización de contratos y futuras negociaciones, incluso si el proceso de consolidación de los datos continúa siendo manual.

De forma análoga a lo observado en los subprocesos de Valor Planeado y Valor Ganado, Power BI no incide directamente en las fases iniciales de captura, procesamiento o validación de la información. Su función se restringe al análisis y visualización interactiva de los datos una vez estos han sido consolidados, estructurados y cargados mediante procesos previos, lo cual limita su impacto directo en la eficiencia global del subproceso. Pero la integración de Power BI abre la posibilidad de realizar análisis complementarios que anteriormente no se llevaban a cabo, como la identificación de patrones de comportamiento, tendencias de gasto por proveedor o comparativos históricos entre periodos. Estas capacidades analíticas avanzadas permiten extraer un mayor valor estratégico de los datos existentes, optimizando el proceso de evaluación y formulación de acciones en distintos niveles de la organización.

En particular, el procedimiento de corte de obra con subcontratistas aún responde a una dinámica tradicional, donde el inspector de obra realiza mediciones físicas en campo, las registra manualmente en libretas y luego transcribe los datos en hojas de cálculo para su posterior procesamiento. Este enfoque no solo incrementa los tiempos operativos, sino que también limita la trazabilidad y la precisión de los registros.

A pesar de que no se evidencia una reducción significativa en tiempo o costos, es importante destacar ciertos avances en términos de digitalización del flujo de información. Actualmente, el proceso de corte de obra con los subcontratistas ha sido centralizado mediante el uso de Google Sheets, reemplazando el envío fragmentado de archivos por correo electrónico. De igual forma, los datos extraídos del software Control se exportan ahora a hojas de cálculo en la nube, lo que facilita su posterior integración con Power BI mediante procesos ETL (Extracción, Transformación y Carga) sin requerir reprocesamientos manuales adicionales. Aunque estos ajustes no representan mejoras cuantificables en términos de eficiencia operativa, constituyen avances relevantes en cuanto a interoperabilidad entre sistemas, transparencia en la gestión de la información y trazabilidad de los datos, aspectos fundamentales en el camino hacia la transformación digital de los procesos constructivos.

		RESUMEN					
EMPRESA:		Anfer Ingeniería S.A.S.	DURACIÓN (HRS)				
TIPO DE OBRA:	Complejidad alta	PROCEDIMIENTO	ACTUAL	RECOMEND.	AHORRO	COSTO HUMANO	COSTO TI
PROCESO:	Monitoreo y control de obra	Acción	3	2	1	\$ 135.000	\$ -
SUBPROCESO:	Last Planner	Decisión					
UBICACIÓN:	Obra	Documento	2	0,5	1,5	\$ 90.000	\$ 2.300
COMENTARIOS: Se evalúa la eficiencia del proceso de monitoreo y control de obra para la etapa de recopilación de la información del PAC y las CNC		E. o S. de datos	0,1	0,1	0	\$ 4.500	\$ 325
		Base de datos	0,1	0,1	0	\$ 4.500	\$ 5
	TOTAL		5,2	2,7	2,5	\$ 234.000	\$ 2.630

ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTO	Dur. (hrs)	HERRAM.	RESP.	COSTO	RECURSO	RECOMENDACIÓN
Medición de compromisos planeados		3	Eq. Top., cinta, planos	Director de obra	\$ 135.000	Prof. + Ayud. con prest. sociales	Tablets para actualizar cortes
Evaluación del PAC y CNC		2	Excel	Director de obra	\$ 92.300	Prof. con prest. + software/mes + eq.	Param. hoja cálculo y emplear Power BI
Enviar PAC y CNC		0,1	Correo electrónico	Director de obra	\$ 4.825	Prof. con prest. + internet + equipos	
Archivo base de datos		0,1	Drive/gmail	Director de obra	\$ 4.505	Prof. + suscrip./mes	
TOTAL		5,2			\$ 236.630		

Tabla 21: Subproceso de generación del PAC y CNC de la herramienta LPS en el proceso de monitoreo y control de obra actual

		RESUMEN						
EMPRESA:	Anfer Ingeniería S.A.S.			DURACIÓN (HRS)				
TIPO DE OBRA:	Complejidad alta	PROCEDIMIENTO	ACTUAL	PROPUESTA	AHORRO	COSTO HUMANO	COSTO TI	
PROCESO:	Monitoreo y control de obra	Acción	3	3	0	\$ 135.000	\$ -	
SUBPROCESO:	Last Planner	Decisión						
UBICACIÓN:	Obra	Documento	2	0,5	1,5	\$ 22.500	\$ 575	
COMENTARIOS:	Se evalúa la eficiencia del proceso de monitoreo y control de obra para la etapa de recopilación de la información del PAC y las CNC	E. o S. de datos	0,1	0,1	0	\$ 4.500	\$ 325	
		Base de datos	0,1	0,1	0	\$ 4.500	\$ 5	
		TOTAL	5,2	3,7	1,5	\$ 166.500	\$ 905	

ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTO	Dur. (hrs)	HERRAM.	RESP.	COSTO	RECURSO	PROPUESTA
Medición de compromisos planeados		3	Eq. Top., cinta, planos	Director de obra	\$ 135.000	Prof. + Ayud. con prest. sociales	
Evaluación del PAC y CNC		0,5	Excel	Director de obra	\$ 23.075	Prof. con prest. + software/mes + eq.	Parametrización de hoja cálculo
Enviar PAC y CNC		0,1	Correo electrónico	Director de obra	\$ 4.825	Prof. con prest. + internet + equipos	
Archivo base de datos		0,1	Drive/gmail	Director de obra	\$ 4.505	Prof. + suscrip./mes	Documento cargado a Google sheets
TOTAL		3,7			\$ 167.405		

Tabla 22: Subproceso de generación del PAC y CNC de la herramienta LPS en el proceso de monitoreo y control de obra con Power BI

Este subproceso constituye una fase crítica dentro del sistema de monitoreo y control de obra, al abordar la generación del Porcentaje de Actividades Completadas (PAC) y la identificación de las Causas de No Cumplimiento (CNC), métricas esenciales en el marco de la filosofía de Lean Construction y, específicamente, en la aplicación del Last Planner System (LPS) como herramienta de planificación colaborativa y control de producción.

A diferencia de otros subprocesos evaluados, el seguimiento del PAC no dispone actualmente de un software especializado para la captura y procesamiento de información, lo que representa una limitación operativa relevante. La obtención de datos se realiza de forma manual, lo que introduce demoras, inconsistencias y una elevada carga operativa. En respuesta a esta problemática, se propone la implementación de hojas de cálculo parametrizadas con estructuras normalizadas y validaciones integradas, que permitan una captura de datos más eficiente, precisa y estandarizada.

Esta nueva estructura para la captura de información habilita su conexión directa con plataformas de análisis como Power BI mediante procesos de extracción, transformación y carga (ETL), lo que facilita su visualización interactiva y la generación automatizada de reportes de cumplimiento. El análisis comparativo entre el escenario actual y la propuesta evidencia una reducción de 1,5 horas en la duración del subproceso equivalente al 28,85%, así como un ahorro estimado de \$69.225 correspondiente al 29,25% del costo asociado a dicho subproceso. Estas mejoras derivan principalmente de la disminución en los tiempos operativos y el uso más eficiente de recursos tecnológicos. Si bien la optimización no recae directamente sobre las herramientas de análisis visual, constituye un paso fundamental en la preparación y estructuración de los datos, requisito indispensable para un sistema de control basado en indicadores confiables.

Adicionalmente, se introduce un cambio importante en la forma de consolidar la información: ahora, en lugar de ser enviada de manera fragmentada vía correo electrónico por el actor involucrado, los datos se registran y centralizan en un archivo compartido en la nube (Google Sheets). Si bien esta modificación no representa un ahorro directo en tiempo o costos —ya que el envío por correo y la carga en la nube requieren tiempos equivalentes—, sí genera beneficios significativos en términos de interoperabilidad entre plataformas, transparencia del proceso y trazabilidad de la información, elementos clave para la consolidación de un ecosistema digital orientado a la mejora continua.

		RESUMEN						
EMPRESA:	Anfer Ingeniería S.A.S.	PROCEDIMIENTO		DURACIÓN (HRS)			COSTO HUMANO	COSTO TI
TIPO DE OBRA:	Complejidad alta	ACTUAL	RECOMEND.	AHORRO				
PROCESO:	Monitoreo y control de obra	Acción	4	4	0	\$ 75.000	\$ 6.000	
SUBPROCESO:	Costo Real indirecto	Decisión						
UBICACIÓN:	Oficina	Documento	4,1	6,1	-2	\$ 76.875	\$ 4.715	
COMENTARIOS:	Se evalúa la eficiencia del proceso de monitoreo y control de obra para la etapa de recopilación de la información del Costo Real indirecto	E. o S. de datos	3,5	3	0,5	\$ 65.625	\$ 4.025	
		Cons. y almac.	3	3	0	\$ 56.250	\$ 3.450	
		TOTAL	14,6	16,1	-1,5	\$ 273.750	\$ 18.190	

ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTO	Dur. (hrs)	HERRAM.	RESP.	COSTO	RECURSO	RECOMENDACIÓN	
Registrar entradas y salidas administrativas		4	Control Mastersoft	Profesional de control	\$ 81.000	Prof. con prest. + software/mes + eq.		
Organizar y procesar la información		4	Excel	Profesional de control	\$ 79.600	Prof. con prest. + software/mes + eq.		
Estimar impuestos de obra		0,5	Excel	Profesional de control	\$ 9.950	Prof. con prest. + software/mes + eq.		
Estimar Costo Real		1	Excel	Profesional de control	\$ 19.900	Prof. con prest. + software/mes + eq.		
Calcular indicadores de gestión		2	Excel	Profesional de control	\$ 39.800	Prof. con prest. + software/mes + eq.		
Consolidar y almacenar la información		3	Excel/Drive	Profesional de control	\$ 59.700	Prof. con prest. + software/mes + eq.		
Enviar informe a gerencia		0,1	Correo electrónico	Profesional de control	\$ 1.990	Prof. con prest. + internet + equipos		
TOTAL		14,6	\$ 261.640					

Tabla 23: Subproceso de generación del costo real indirecto y la consolidación de las métricas obtenidas para la implementación del EVM y evaluación del LPS en el proceso actual

		RESUMEN						
EMPRESA:	Anfer Ingeniería S.A.S.	PROCEDIMIENTO		DURACIÓN (HRS)			COSTO HUMANO	COSTO TI
TIPO DE OBRA:	Complejidad alta	ACTUAL	PROPUESTA	AHORRO				
PROCESO:	Monitoreo y control de obra	Acción	4	4	0	\$ 75.000	\$ 6.000	
SUBPROCESO:	Costo Real indirecto	Decisión						
UBICACIÓN:	Oficina	Documento	0,4		0,4	\$ -	\$ -	
COMENTARIOS:	Se evalúa la eficiencia del proceso de monitoreo y control de obra para la etapa de recopilación de la información del Costo Real indirecto	E. o S. de datos	3,5		3,5	\$ -	\$ -	
		Cons. y almac.	3		3	\$ -	\$ -	
		TOTAL	10,9	4	6,9	\$ 75.000	\$ 6.000	

ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTO	Dur. (hrs)	HERRAM.	RESP.	COSTO	RECURSO	PROPUESTA	
Registrar entradas y salidas administrativas		4	Control Mastersoft	Profesional de control	\$ 81.000	Prof. con prest. + software/mes + eq.		
Organizar y procesar la información		0	Excel	Profesional de control	\$ -	Prof. con prest. + software/mes + eq.	Documento exportado desde Control	
Estimar impuestos de obra		0	Excel	Profesional de control	\$ -	Prof. con prest. + software/mes + eq.	Automatizado con DAX	
Estimar Costo Real		0	Excel	Profesional de control	\$ -	Prof. con prest. + software/mes + eq.	Automatizado con DAX	
Calcular indicadores de gestión		0	Excel	Profesional de control	\$ -	Prof. con prest. + software/mes + eq.	Automatizado con DAX	
Consolidar y almacenar la información		0	Excel/Drive	Profesional de control	\$ -	Prof. con prest. + software/mes + eq.	Consolidado con google sheets	
Enviar informe a gerencia		0	Correo electrónico	Profesional de control	\$ -	Prof. con prest. + internet + equipos	Automatizado en el servidor	
TOTAL		4	\$ 81.000					

Tabla 24: Subproceso de generación del costo real indirecto y la consolidación de las métricas obtenidas para la implementación del EVM y evaluación del LPS con Power BI

Este subproceso constituye el componente central del sistema de monitoreo y control, ya que aquí se integra y consolida la información proveniente de diversas fuentes operativas para el cálculo del costo real indirecto y la generación de las métricas clave asociadas tanto a la metodología del Valor Ganado como al seguimiento del desempeño bajo el enfoque del Last Planner System.

A diferencia de los subprocesos anteriores, donde las limitaciones tecnológicas o la dependencia de herramientas externas restringen el alcance de la automatización, en esta fase Power BI tiene un rol protagónico y de alto impacto. Su implementación permite la automatización del flujo de información, eliminando tareas manuales repetitivas y propensas a errores, y reemplazándolas por procesos de extracción, transformación y carga (ETL) que alimentan directamente visualizaciones dinámicas y actualizadas en tiempo real.

Por ejemplo, antes de esta integración, el proceso presentaba múltiples ineficiencias operativas, tales como duplicidad de datos, errores en fórmulas dentro de hojas de cálculo, demoras significativas en la consolidación de información, incompatibilidad de formatos entre archivos fuente, y una alta dependencia de procedimientos manuales para ordenar, clasificar y preparar los datos. Estas limitaciones no solo comprometían la calidad y oportunidad de la información disponible, sino que también afectaban la confiabilidad del análisis y procesamiento realizado, dificultando una gestión precisa basada en datos verificables.

La mejora propuesta incide significativamente en los tiempos de ejecución y en la eficiencia operativa general del subproceso. Se registra una reducción de 10,6 horas en la duración total equivalente a un 68,5%, así como un ahorro estimado de \$210.940, lo que representa una disminución del 72,25%, en los costos asociados. Estos resultados son atribuibles a la optimización de tareas mediante la automatización, la reducción de la intervención manual y la sustitución del uso intensivo de herramientas tradicionales como hojas de cálculo por flujos de trabajo basados en Power BI y procesos ETL.

Este resultado no solo evidencia la viabilidad técnica de la solución implementada, sino que también valida su pertinencia dentro del marco de transformación digital en la gestión de proyectos de construcción. La consolidación automatizada de datos y la disponibilidad de métricas confiables en tiempo real fortalecen la capacidad de análisis, seguimiento y toma de decisiones estratégicas, alineándose con los principios de gestión por indicadores y mejora continua promovidos por metodologías como Lean Construction y enfoques PMI en la dirección de proyectos.

Imagen 36: Comparación costos por subproceso



Imagen 37: Comparación costos por procedimiento

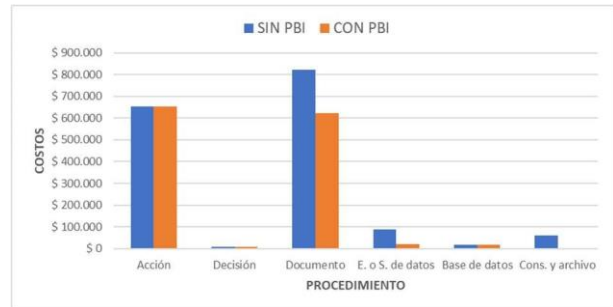
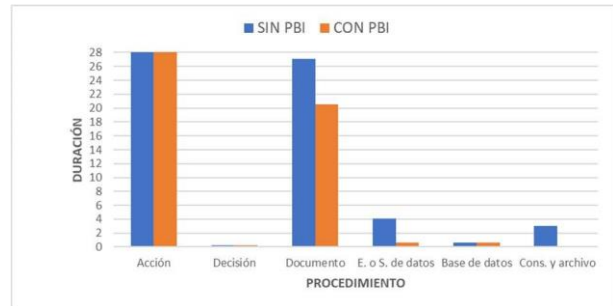


Imagen 38: Comparación duración por subproceso



Imagen 39: Comparación duración por procedimiento



PROCEDIMIENTO	SUBPROCESO 1: PV		SUBPROCESO 2: EV		SUBPROCESO 3: CD		SUBPROCESO 4: LPS		SUBPROCESO 5: CI/AC		SUBPROCESO 6: KPI		TOTAL		REDUCCIÓN DE TIEMPO Y COSTO	
	ANTES	DESPÚES	ANTES	DESPÚES	ANTES	DESPÚES	ANTES	DESPÚES	ANTES	DESPÚES	ANTES	DESPÚES	ANTES	DESPÚES		
Acción			8,5	8,5	12,5	12,5	3	3	4	4			28	28	0	0,0%
Decisión	0,2	0,2											0,2	0,2	0	0,0%
Documento	12	11	5	5	4	4	2	0,5	4		0,1		27,1	20,5	6,6	24,4%
E. o S. de datos	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	1,5		2		4,1	0,6	3,5	85,4%
Base de datos	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1					0,6	0,6	0	0,0%
Consolidación y arch.											3		3	0	3	100,0%
DURACIÓN SUBPROCESO (HRS)	12,6	11,6	13,7	13,7	16,9	16,9	5,2	3,7	9,5	4,0	5,1	0,0	63	49,9	13,1	20,8%
COSTO RECURSO HUMANO	\$451.125	\$406.125	\$287.700	\$287.700	\$348.750	\$348.750	\$234.000	\$166.500	\$178.125	\$75.000	\$95.625	\$0	\$1.595.325	\$1.284.075	\$311.250	19,5%
COSTO TI	\$15.159	\$13.659	\$6.080	\$6.080	\$11.259	\$11.259	\$2.630	\$905	\$12.325	\$6.000	\$5.865	\$0	\$53.317	\$37.902	\$15.415	28,9%
COSTO TOTAL DEL SUBPROCESO	\$466.284	\$419.784	\$293.780	\$293.780	\$360.009	\$360.009	\$236.630	\$167.405	\$190.450	\$81.000	\$101.490	\$0	\$1.648.642	\$1.321.977	\$326.665	19,8%
REDUCCIÓN DE TIEMPO Y COSTO	1	\$46.500	0	\$0	0	\$0	1,5	\$69.225	5,5	\$109.450	5,1	\$101.490				

Tabla 25: Consolidación de los resultados obtenidos en cada procedimiento y subproceso del monitoreo y control de obra antes y después de la implementación de herramientas de análisis de datos y visualización interactiva

Finalmente, en la evaluación de la eficiencia y los recursos utilizados en el proceso de monitoreo y control de obras de la empresa Anfer Ingeniería S.A.S., empleando herramientas de análisis de datos y visualización interactiva (Tabla 25) se obtiene:

1. **El tiempo del proceso se reduce en un 20,8%, lo que equivale a un ahorro de 13,1 horas semanales.** Esta disminución representa un avance importante en la eficiencia del equipo de control de obras. Liberar más de 13 horas por semana permite redistribuir la carga laboral hacia actividades de mayor valor agregado, como la planificación y control de recursos o la implementación de estrategias de mejora continua, en lugar de tareas repetitivas o manuales.
2. **El costo semanal disminuye en un 19,8% equivalente a \$326.665 COP (para el año 2024).** La reducción casi proporcional entre tiempo y costo sugiere una alta dependencia del recurso humano en los subprocesos analizados. El ahorro financiero no solo representa un beneficio directo, sino que también evidencia el retorno de la inversión en tecnología aplicada al monitoreo.
3. **De este valor, \$311.250 corresponden a costos asociados al recurso humano y \$15.415 a costos en tecnologías de la información (TI).** La mayor parte del ahorro proviene de la disminución de horas de trabajo de los profesionales necesarios para ejecutar el proceso. Esto destaca que la herramienta no solo automatiza tareas, sino que también mejora la productividad del equipo, reduciendo significativamente la intervención manual. La optimización de los costos de TI indica que se aprovecharon herramientas accesibles e integradas al sistema existente.
4. **El subproceso con mayor impacto tras la implementación de la herramienta Power BI fue la generación de KPIs, seguido por la estimación del costo real.** Esto debido a que Power BI se orientó al procesamiento de la información recopilada mediante expresiones DAX. Además, la estimación del costo real se realiza directamente con los datos exportados desde el software Control eliminando los procedimientos manuales. Esta integración permite que las estimaciones se automaticen, siempre que la información registrada en el programa sea oportuna y veraz.
5. **La reducción de tiempo y costo depende de la complejidad del proyecto.** En el caso de estudio, la obra analizada presenta un nivel de complejidad alto, lo cual

demanda la participación de cinco actores en el proceso de captura, consolidación y procesamiento de la información (cuatro en obra y uno en oficina). Este requerimiento operativo incrementa la carga de trabajo y la intervención humana, haciendo más evidentes los beneficios de automatización. Sin embargo, en obras de menor envergadura, donde la carga recae principalmente sobre el nivel de oficina, el impacto de la implementación de herramientas como Power BI y la interoperabilidad de sistemas puede ser aún mayor, dado que el subproceso más beneficiado —el análisis y consolidación de la información para la generación de KPIs, Paretos y evaluación del LPS— es el que más se intensifica en este entorno. En consecuencia, la duración y los costos de los subprocesos no son constantes, ya que varían en función de la dedicación del recurso humano y las tecnologías de la información empleadas. Esta variabilidad debe ser considerada al evaluar la escalabilidad y replicabilidad del modelo a otros proyectos o empresas del sector.

4.2 CONCLUSIONES

1. La implementación de herramientas de Business Intelligence como Power BI en el proceso de monitoreo y control de obras, soportada por flujos de trabajo ETL eficientes, ha optimizado el tiempo, los recursos y la calidad de la información disponible. Esta mejora ha permitido un análisis preciso y oportuno de los datos favoreciendo una gestión de proyectos más ágil y predictiva.
2. La capacidad de análisis estratégico de la etapa de monitoreo y control de obra se fortaleció al incorporar herramientas como Last Planner System en la implementación tecnológica, lo que permitió alinear el proceso con los principios de la filosofía Lean Construction. Esta integración no solo promovió la mejora continua, sino que también facilitó la generación de valor para el cliente, optimizando la planificación y ejecución del proyecto.
3. La implementación de Power BI en el proceso de monitoreo y control de proyectos de construcción genera un impacto positivo en términos de análisis y visualización de datos, pero su efecto directo en la eficiencia operativa es limitado cuando la captura y estructuración de la información desde su origen permanecen manuales. Esta restricción obedece a que la herramienta no se integra directamente a las etapas iniciales de recolección

de datos, las cuales se desarrollan mediante otros softwares o, en su defecto, a través de métodos análogos como las mediciones de avance físico en obra, lo cual reduce el potencial de automatización integral.

4. La migración de la información a plataformas colaborativas como Google Sheets, aunque no reduce tiempos ni costos, constituye un avance significativo en interoperabilidad, transparencia y trazabilidad, preparando el terreno para futuras automatizaciones mediante procesos ETL.
5. Se logró establecer un modelo replicable de bajo costo para otras empresas del sector de la construcción, especialmente para Mipymes, que actualmente enfrentan retos en transformación digital y seguimiento eficiente de obras. Este modelo se apoya en herramientas accesibles como Google Sheets para la recolección y organización colaborativa de datos y Power BI para el análisis y visualización interactiva de indicadores, lo que permite su implementación sin necesidad de infraestructura tecnológica compleja ni altos niveles de inversión.

Estos resultados validan el enfoque tecnológico adoptado y sugieren que su escalabilidad podría replicar beneficios similares en otros procesos de la organización o etapas del proyecto.

4.3 APORTES AL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

1. Este estudio demuestra la viabilidad de integrar herramientas de análisis de datos y visualización interactiva en procesos de control de obra sin necesidad de implementar sistemas complejos o costosos, lo que puede ser replicado en MIPYMES del sector.
2. Se establece un modelo base de transformación digital progresiva de bajo costo, que integra hojas de cálculo parametrizadas, plataformas en la nube y herramientas de análisis como Power BI, constituyéndose en una alternativa práctica y escalable frente a soluciones integrales como sistemas de planificación de recursos empresariales. Este modelo no pretende reemplazar un ERP, sino actuar como una solución complementaria más accesible, especialmente útil para empresas que aún no disponen de estos sistemas. Asimismo, representa una herramienta eficaz para aquellas organizaciones que buscan

fortalecer su proceso de monitoreo y control sin incurrir en grandes inversiones, facilitando una mejora gradual, adaptable y sostenible en la gestión de sus proyectos.

3. Se valida la importancia de estructurar la información desde su origen con criterios de calidad, estandarización y conectividad, lo que representa un aporte clave en términos de gobernanza de datos dentro del ciclo de vida del proyecto.
4. Se evidencia cómo la visualización interactiva fortalece la toma de decisiones y la gestión basada en indicadores, promoviendo una cultura organizacional orientada al análisis cuantitativo y la mejora continua.
5. El enfoque metodológico puede ser replicado en otros contextos del sector público y privado colombiano, contribuyendo al cierre de brechas tecnológicas y a la modernización de los sistemas de gestión de proyectos de infraestructura.

4.4 RECOMENDACIONES

1. A corto plazo se recomienda avanzar hacia la digitalización del proceso de captura de información en campo mediante dispositivos móviles conectados a formatos estandarizados de memoria de cantidades para cada actividad medida establecida en el presupuesto, lo que permitirá automatizar flujos de datos desde el origen y mejorar la trazabilidad y la confiabilidad de la información.
2. A mediano plazo, se sugiere evaluar la implementación de metodologías BIM, particularmente en sus dimensiones 4D y 5D, para integrar cronogramas, modelos 3D y presupuestos en una sola plataforma interoperable, lo que optimizaría la gestión del valor ganado y el control de costos.
3. Se recomienda que el departamento técnico de la empresa desarrolle un manual o guía de uso que estandarice integralmente el proceso de monitoreo y control, abarcando desde la recolección y generación de datos hasta su visualización y análisis en Power BI, consolidando una estrategia de interoperabilidad entre los diferentes sistemas utilizados por la empresa (software de control, hojas de cálculo, MS Project) que reduzcan la dependencia del procesamiento manual y mejoren la eficiencia operativa.

4. Se sugiere capacitar al personal en el uso de herramientas de análisis y visualización como Power BI, no solo en su aspecto técnico, sino en la interpretación y uso de indicadores de gestión, para maximizar el valor estratégico de la información generada.
5. Finalmente, se propone replicar el modelo desarrollado en esta investigación en otros procesos de la empresa o ampliar el alcance al monitoreo y control de obra, incorporando otros componentes como el ambiental, social, calidad, seguridad y salud en el trabajo, generando una gestión integral del proyecto abordando un desafío multidimensional, esto con el fin de validar su escalabilidad, adaptabilidad y beneficio en distintos entornos operativos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abduldaem, A., & Gravell, A. (2019). Principles for the design and development of dashboards: literature review. *Proceedings of INTCESS 2019*, 4–6.
- Alaloul, W. S., Liew, M. S., Zawawi, N. A. W. A., & Kennedy, I. B. (2020). Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders. *Ain Shams Engineering Journal*, *11*(1), 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.010>
- Alarcón Torres, J. F., & Gutiérrez Sierra, J. P. (2023). Diseño de dashboard como herramienta de control gerencial para toma de decisiones de alto nivel en Mipymes constructoras Colombianas. In *Trabajo de grado especialización*. Fundación Universidad de América.
- Arias Romero, D. A. (2023). Definición e implementación de dashboard para seguimiento y control de obras civiles viales en la ciudad de Bogotá. In *Tesis de pregrado*. Universidad La Gran Colombia.
- Ballard, H. G. (2000). The last planner system of production control. In *Tesis de Doctorado*. University of Birmingham.
- Cao, X., Lan, M., Li, Y., Wang, S., Zhao, L., Hou, Y., Li, L., Cao, X., Xiang, Y., & Zhang, Y. (2024). From Theory to Practice: Challenges and Countermeasures for the Implementation of BIM and Intelligent Construction Technology. *International Journal of Education and Humanities*, *15*(3), 324.
- Elías Zuloeta, F. A., Rojas Guerra, L. M., & Segura Rodríguez, J. G. (2019). Implementación de los dashboard para mejorar la productividad de obra: Rehabilitación de la protección del perímetro del terreno de la Universidad Nacional de Piura colindante con la margen izquierda del río Piura. In *Tesis de maestría*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Few, Stephen. (2006). *Information dashboard design: the effective visual communication of data*. O'Reilly.
- Gara, J. A., Zakaria, R. B., Aminudin, E., Adzar, J. A., Yosif, O. S., & Yousif, O. S. (2021). The Development of Real-Time Integrated Dashboard: An Overview for Road Construction Work Progress Monitoring. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)* , *48*(5).

- Gledson, B. J., & Greenwood, D. (2017). The adoption of 4D BIM in the UK construction industry: An innovation diffusion approach. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(6), 950–967. <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2016-0066>
- Gómez Gaviria, D. (2020). *Estrategia de adopción BIM en Colombia*. <https://camacol.co/sites/default/files/LANZAMIENTO%20DE%20LA%20ESTRATEGIA%20DE%20ADOPCIÓN%20DE%20BIM%20EN%20COLOMBIA.pdf>
- KPMG International. (2019). *Future-Ready Index: Leaders and followers in the engineering & construction industry*. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2019/04/global-construction-survey-2019.pdf>
- Lamprey, W. N. L., & Fayek, A. R. (2012). Developing a Project Status Dashboard for Construction Project Progress Reporting. *International Journal of Architecture, Engineering and Construction*, 1, 112–120. <https://doi.org/10.7492/ijaec.2012.013>
- McKinsey&Company. (2017). *Reinventing construction A route to higher productivity full-report* (McKinsey&Company, Ed.). McKinsey&Company. <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/mgi-reinventing-construction-a-route-to-higher-productivity-full-report.pdf>
- Nadelhoffer, E. (2020). *10 Best Practices for Building Effective Dashboards* Ellen Nadelhoffer, Senior Technical Writer.
- Organización de las Naciones Unidas. (2024, June 27). *Día de las Microempresas y las Pequeñas y Medianas Empresas*. Organización de Las Naciones Unidas. [https://www.un.org/es/observances/micro-small-medium-businesses-day#:~:text=Antecedentes,ODS\)%20de%20las%20Naciones%20Unidas.](https://www.un.org/es/observances/micro-small-medium-businesses-day#:~:text=Antecedentes,ODS)%20de%20las%20Naciones%20Unidas.)
- Project Management Institute. (2017). *A guide to the Project Management Body of Knowledge* (6th ed.).
- Rioja, S. S. (2022). Planteamiento de una herramienta de seguimiento y control de proyectos de construcción de infraestructura vial soportado en Power Bi dentro de Joyco SAS BIC. In *Tesis de maestría*. Universidad de los Andes.

- Romero Florez, F., Diaz, G., Cárdenas Moreno, J. J., & Gómez, J. A. (2018). Propuesta de implementación de un dashboard para el seguimiento de proyectos en la constructora Jemur. In *Trabajo de especialización*. Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano.
- Rosero Vergara, A. F. (2022). Propuesta de un flujo de trabajo aplicado a un proyecto de infraestructura vial en la empresa Anfer Ingeniería S.A.S. In *Trabajo de grado de maestría*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Saka, A., Chan, D. W., Siu, F., Saka, A. B., Chan Associate Professor, D. W., Head, A., & Siu Assistant Professor, F. M. (2019). Adoption of Building Information Modelling in Small and Medium-Sized Enterprises in Developing Countries: A System Dynamics Approach. In *CIB World Building Congress*. <https://www.researchgate.net/publication/334390215>
- Sargent, K., Hyland, P., & Sawang, S. (2012). Factors influencing the adoption of information technology in a construction business. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12(2), 72–86. <https://doi.org/10.5130/ajceb.v12i2.2448>
- Tito Moscoso, S. E. (2023). Desarrollo de un dashboard mediante el uso de Power BI para disminuir el riesgo de retraso en el cronograma durante la etapa de control y monitoreo. Aplicado al proyecto: Estudios y diseños para pavimentar base de operaciones. In *Tesis de pregrado*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Tubilla Espinoza, V. H., & Segura Rodriguez, X. J. (2021). Aplicación de dashboards para mejorar la productividad y la toma de decisiones en los proyectos de construcción. In *Tesis de pregrado*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ur Rehman, M. S., Shafiq, M. T., & Ullah, F. (2022). Automated Computer Vision-Based Construction Progress Monitoring: A Systematic Review. *Buildings*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/buildings12071037>