



**Diseño de tablero en Power BI para el análisis del desempeño operativo de contratistas y su
incidencia en el cumplimiento de cronogramas de obra: estudio de caso en proyectos de
vivienda**

Presentado por:

Ing. Natalia Alejandra Cardona Motato

Arq. Maria Victoria Balaguera Zapata

Programa de Maestría en Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Director:

PhD. Diego Alberto Báez Palencia

Junio de 2026

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por acompañarnos en cada etapa de este camino, por darnos la fortaleza en los momentos difíciles, la claridad en las decisiones y la constancia para no rendirnos, incluso cuando el proceso se hizo retador tanto en lo personal como en lo profesional.

A nuestras familias, especialmente a nuestros padres, por ser el fundamento de lo que somos hoy. Gracias por su amor incondicional, por sus enseñanzas y por impulsarnos siempre a creer en nuestras capacidades, incluso en los momentos de mayor incertidumbre.

A nuestras parejas, por su paciencia, comprensión y apoyo silencioso pero constante. Por estar presentes en los momentos de cansancio, por sostenernos cuando fue necesario y por caminar a nuestro lado durante todo este proceso.

A nuestros hijos, quienes son nuestra mayor inspiración y el motor que nos impulsa a seguir creciendo. Este logro también es para ellos, por enseñarnos cada día el verdadero significado del esfuerzo, la disciplina y el amor.

Finalmente, agradecemos a la organización que hizo posible el acceso a la información y a todas las personas que, de una u otra manera, aportaron a la construcción de este proyecto.

Este logro no es solo la culminación de una meta académica, es el reflejo de un camino lleno de esfuerzo, aprendizajes y crecimiento. Es también el resultado del trabajo conjunto como mujeres, profesionales, madres y compañeras, que decidieron avanzar a pesar de los desafíos, con la convicción de que todo esfuerzo tiene un propósito.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2 Justificación	6
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo General	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 Alcance	9
2. MARCO DE REFERENCIA	13
2.1. Marco Teórico.....	15
2.1.1. Business Intelligence (BI).....	15
2.1.2. Gestión de Proyectos.....	21
2.1.3. Técnicas metodológicas para la medición de la gestión de proyectos	32
3. CONTEXTO DE LA ORGANIZACIÓN	36
4. METODOLOGÍA	39
4.1. Fase 0. Definición de conceptos y contextualización	39
4.2. Fase 1. Diagnóstico de la situación actual	40
4.2.1. Contextualización de los Casos de Estudio.....	40
4.3. Fase 2. Diseño del sistema de Business Intelligence	45
4.3.1 Recolección de Información y Fuentes de Datos	45
4.3.2 Análisis de Datos	46
4.3.3. Caracterización de la Base de Datos – Sistema Sentinel	47
4.3.4. Caracterización de la Base de Datos – Primavera P6	51
4.3.5. Análisis Comparativo de Bases de Datos: Sentinel vs Primavera	55
4.3.6. Caracterización de la Base de Datos – Sistema Biométrico.....	59
4.3.7. Entrevistas.....	59
4.4. Fase 3. Integración y validación de datos	74
4.4.1. Proceso de integración y transformación de datos.....	77
4.4.2. Modelo entidad-relación del sistema BI	79
4.4.3. Validación y consistencia del modelo.....	80

4.5. Fase 4. Analítica descriptiva y visualización del desempeño	81
4.6. Fase 5. Evaluación de resultados	84
4.6.1. Estandarización y calidad del dato	86
4.6.2. Automatización, apropiación y fortalecimiento del uso del dato.....	87
4.6.3. Integración tecnológica y fortalecimiento analítico	88
4.6.4. Validación y control de integridad de la información.....	90
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	91
5.1. Visión general del desempeño de contratistas	91
5.2. Ranking integral de contratistas.....	93
5.3. Evaluación individual del desempeño por contratista.....	94
5.4. Curva S por obra y contratista.....	95
5.5. Análisis de capacidad operativa y concurrencia de obras	97
5.6. Análisis de incidencias y causas recurrentes.....	99
5.7. Relación entre puntualidad y score integral	100
5.8. Recomendador por actividad	102
5.9. Análisis de datos provenientes de Primavera.....	103
5.10. Análisis de capacidad operativa mediante integración de programación y registros biométricos	104
5.11. Discusión de resultados.....	109
6 . CONCLUSIONES	111
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
8. ANEXOS	117
A. Cuestionario Para Focus Group / Entrevistas	117
Dirigido a Residente de Obra y Director de Obra.....	117
B. Cuestionario Para Focus Group / Entrevistas	121
Dirigido a Coordinador de Negociaciones.....	121
C. Cuestionario Para Focus Group / Entrevistas	124
Dirigido a Director de Construcciones.....	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores para la medición del desempeño en proyectos de construcción.	35
Tabla 2. Comparación entre duración planificada y duración real de los proyectos seleccionados.	43
Tabla 3. Desviación en actividades críticas.	44
Tabla 4. Relación entre campos de la base Sentinel y su uso en el sistema BI.....	49
Tabla 5. Relación entre campos de la base Primavera P6 y su uso en el sistema BI	54
Tabla 6. Comparación entre Sentinel y Primavera P6 desde el enfoque del sistema BI.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Principales dificultades en el control del cronograma relacionadas con el desempeño de los contratistas.	65
Figura 2: Principales dificultades en el control del cronograma relacionadas con el desempeño de los contratistas.	67
Figura 3: Principales problemáticas en la disponibilidad y calidad de la información para la gestión de contratistas	68
Figura 4: Beneficios esperados de la implementación de un sistema BI en la gestión de contratistas.....	70
Figura 5: Dimensiones clave (KPIs) para la gestión de contratistas.....	72
Figura 6: Modelo entidad-relación conceptual del sistema BI desarrollado en Power BI.....	80
Figura 7: Estructura general del sistema de Business Intelligence desarrollado en Power BI.	83
Figura 8: Resumen Ejecutivo del tablero analítico e indicadores consolidados de desempeño	84
Figura 9: Visión general de indicadores consolidados del sistema BI.....	92
Figura 10: Ranking comparativo de contratistas según score integral de desempeño.....	94
Figura 11: Análisis integral del desempeño individual de contratistas.....	95
Figura 12: Comparación entre avance planificado y avance ejecutado mediante Curva S.	97
Figura 13: Relación entre experiencia multiproyecto y capacidad concurrente de contratistas.	99
Figura 14: Principales causas de incidencias reportadas durante la ejecución.	100
Figura 15: Relación entre puntualidad y score integral de desempeño.....	101
Figura 16: Recomendador de contratistas por actividad.....	103
Figura 17: Visualización de datos provenientes de cronogramas de obra.	104
Figura 18: Análisis de cobertura operativa - Obra Portobelo.	107
Figura 19: Análisis de cobertura operativa - Obra Catania.	108
Figura 20: Análisis de cobertura operativa – Obra Altea	109

RESUMEN

El cumplimiento de los cronogramas constituye uno de los principales retos en los proyectos de construcción de vivienda, debido a factores asociados con la disponibilidad de mano de obra, la capacidad operativa de los contratistas y la limitada integración de la información utilizada para el seguimiento de la ejecución. En este contexto, la presente investigación desarrolla y evalúa un sistema de Business Intelligence (BI) orientado al análisis del desempeño operativo de contratistas y su relación con el cumplimiento del cronograma.

Metodológicamente, el estudio se fundamentó en el análisis de información histórica de once proyectos gestionados mediante Sentinel y cinco proyectos administrados en Oracle Primavera P6. A partir de esta base de datos, se seleccionaron tres proyectos de vivienda para profundizar el análisis de la capacidad operativa real mediante la integración de registros de programación, avance de obra, incidencias operativas y controles biométricos de ingreso de personal. El proceso incluyó actividades de recopilación, depuración, homologación e integración de datos, a partir de las cuales se construyeron indicadores relacionados con cobertura operativa, brecha entre cuadrillas programadas y personal real, disponibilidad efectiva de recursos y desempeño histórico de los contratistas.

Con la información consolidada se diseñó un tablero analítico en Power BI que incorpora indicadores clave de desempeño (KPIs) para evaluar el comportamiento operativo de los contratistas, identificar patrones asociados al cumplimiento del cronograma y analizar la relación entre la capacidad operativa y la ejecución de las actividades. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre el personal programado y el personal que efectivamente ingresó a obra, así como comportamientos recurrentes relacionados con retrasos, incidencias y limitaciones

en la disponibilidad de recursos, factores que influyen directamente en el cumplimiento de la programación.

Como principal aporte, la investigación propone una metodología replicable para integrar información histórica y registros biométricos dentro de un sistema de Business Intelligence aplicado al sector construcción, fortaleciendo el monitoreo de la capacidad operativa de los contratistas y proporcionando soporte analítico para la toma de decisiones basada en datos en los procesos de planeación, seguimiento y gestión de proyectos de vivienda.

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción se caracteriza por la ejecución simultánea de múltiples proyectos, la alta dependencia de contratistas especializados y la necesidad de cumplir cronogramas estrictos que impactan directamente la rentabilidad y sostenibilidad de las organizaciones. En los proyectos de vivienda, el cumplimiento del plazo contractual constituye uno de los principales indicadores de éxito, ya que influye en la entrega oportuna a los clientes, la liberación de recursos financieros y la reputación corporativa. No obstante, uno de los desafíos recurrentes en la gerencia de proyectos de construcción corresponde a la disponibilidad y desempeño del personal calificado, especialmente en contextos donde la demanda de obra supera la capacidad operativa de los contratistas.

Bajo estas condiciones, surge la necesidad de contrastar la planeación operativa definida en los cronogramas con la disponibilidad real de personal en obra, incorporando registros biométricos de ingreso como mecanismo de validación de la capacidad operativa efectiva de los contratistas y del cumplimiento de las cuadrillas programadas. La limitada capacidad de atención simultánea de diferentes frentes de trabajo puede generar retrasos en actividades críticas, disminución de rendimientos y desviaciones en los cronogramas de ejecución.

Adicionalmente, más allá de la disponibilidad de mano de obra, existe una problemática asociada a la ausencia de sistemas estructurados que permitan evaluar, con base en datos históricos, el desempeño operativo real de los contratistas y su capacidad efectiva de ejecución. En muchos casos, la asignación de contratistas a nuevas obras se realiza con base en experiencia previa percibida, relaciones comerciales o disponibilidad inmediata, sin contar con herramientas analíticas que respalden dichas decisiones mediante evidencia cuantitativa.

En este contexto, las herramientas de Business Intelligence (BI) representan una alternativa metodológica para transformar información histórica de ejecución en soporte analítico para la gerencia de proyectos. De acuerdo con Sharda, Delen y Turban (2014), los sistemas BI permiten integrar, procesar y analizar información con el fin de apoyar la toma de decisiones mediante indicadores, patrones y análisis de desempeño. A través de procesos de integración, depuración y análisis de datos, un sistema BI permite estructurar indicadores clave de desempeño (KPIs), identificar patrones de comportamiento y fortalecer el análisis histórico del desempeño operativo de los contratistas. Asimismo, el BI adquiere un valor significativo cuando se emplea como herramienta de análisis retrospectivo para la evaluación de variables asociadas al cumplimiento del cronograma y la capacidad operativa de ejecución.

El presente trabajo de grado se desarrolla a partir del análisis de información histórica correspondiente a once proyectos gestionados mediante Sentinel y cinco proyectos administrados en Primavera P6. A partir de esta base histórica, se seleccionaron tres proyectos de vivienda para profundizar el análisis mediante la integración de información de programación, avance de obra y registros biométricos de ingreso de personal. Con base en esta información, se diseña y valida un tablero analítico en Power BI orientado a evaluar el desempeño operativo de los contratistas, la cobertura operativa de cuadrillas y las desviaciones asociadas al cronograma de ejecución.

La investigación no se centra en intervenir proyectos en ejecución, sino en revisar de manera sistemática el comportamiento histórico de obras finalizadas, identificar comportamientos recurrentes y establecer métricas objetivas de desempeño. En consecuencia, se busca construir una herramienta metodológica que facilite procesos de evaluación y soporte analítico para la selección de contratistas, la asignación de recursos y la planificación operativa de futuros proyectos.

Esta investigación integra principios de control del tiempo, análisis de desempeño y gestión estratégica de recursos con herramientas tecnológicas de análisis de datos. La propuesta metodológica contempla la identificación de fuentes de información, el diseño de una arquitectura de datos, la homologación y estructuración de bases históricas, la definición de KPIS orientados al análisis operativo y la construcción de un tablero analítico que facilite la interpretación de resultados históricos.

El valor agregado del estudio radica en transformar información histórica dispersa en un sistema analítico que permita evaluar objetivamente la capacidad operativa de los contratistas y fortalecer la toma de decisiones en proyectos de construcción mediante herramientas de Business Intelligence.

En síntesis, esta investigación plantea que el análisis retrospectivo de proyectos de vivienda, apoyado en herramientas de Business Intelligence y registros históricos operativos, permite construir indicadores objetivos para el análisis del desempeño operativo de contratistas y de la capacidad real de ejecución de cuadrillas. Al fundamentar este análisis en información histórica integrada mediante KPIs y tableros analíticos, se fortalece el soporte para los procesos de planeación, seguimiento y gestión estratégica de recursos en proyectos de construcción.

1.1. Planteamiento del problema

En los proyectos de construcción de vivienda, el cumplimiento del cronograma constituye uno de los principales indicadores de desempeño, debido a su incidencia directa sobre la rentabilidad, la utilización de recursos y la entrega oportuna de los proyectos. Sin embargo, en el contexto colombiano persisten desviaciones significativas asociadas a variables operativas

relacionadas con la capacidad de ejecución de los contratistas, especialmente en actividades que dependen intensivamente de mano de obra especializada.

(Castelblanco Bolívar, G. 2013) desarrolló un estudio orientado a identificar los factores que afectan el desempeño de la programación en proyectos de construcción. La investigación comprendió una revisión de la literatura para establecer las variables de análisis y el diseño de un instrumento de encuesta, el cual fue validado mediante un estudio piloto con profesionales del sector y posteriormente aplicado a 30 directores de obra en Bogotá. Los resultados evidenciaron que el 83 % de la criticidad acumulada en los proyectos se concentra en las etapas de planeación y ejecución, mientras que las variables asociadas a recursos humanos, tiempo y adquisiciones representan cerca del 70 % de las causas de desviación. Entre los factores con mayor incidencia se identificó la disponibilidad de trabajadores, lo que confirma que la capacidad operativa de los contratistas constituye una variable determinante para el cumplimiento de los cronogramas de obra.

Esta situación se ve reforzada por las condiciones operativas del sector construcción en Colombia. De acuerdo con el DANE (2020), el sector presentó un decrecimiento significativo en su actividad económica, generando presiones sobre la productividad, la disponibilidad de mano de obra y la eficiencia en la utilización de recursos. Bajo este escenario, las constructoras enfrentan mayores dificultades para garantizar el cumplimiento de los cronogramas cuando los contratistas no cuentan con la capacidad operativa suficiente para atender simultáneamente diferentes frentes de trabajo.

No obstante, a pesar de la relevancia de estas variables, muchas organizaciones continúan gestionando la información de sus proyectos mediante reportes fragmentados, con bajo nivel de integración y limitada capacidad analítica (Bello, 2018). En consecuencia, aunque las empresas

disponen de información relacionada con programación, avance de obra, rendimientos y cumplimiento de actividades, esta no siempre se transforma en herramientas que permitan evaluar objetivamente el desempeño histórico de los contratistas y apoyar la toma de decisiones en futuros proyectos.

Desde esta perspectiva, los indicadores clave de desempeño (KPIs) representan una alternativa para medir variables asociadas al cumplimiento del cronograma y al desempeño operativo. Indicadores como el Índice de Desempeño del Cronograma (SPI), la Variación del Cronograma (SV), la productividad real frente a la planificada y el cumplimiento semanal de avance permiten establecer relaciones entre el comportamiento operativo de los contratistas y las desviaciones en la ejecución (Vargas et al., 2020; Caicedo & Melo, 2019). Sin embargo, la ausencia de sistemas integrados para consolidar y analizar esta información limita su aprovechamiento estratégico dentro de la gestión de proyectos.

En línea con lo anterior, investigaciones recientes han evidenciado que la implementación de herramientas de visualización y análisis de datos mejora significativamente la capacidad de seguimiento y control de los proyectos. (Salazar, 2025), identificó que la integración de información operativa en tableros analíticos permitió incrementar considerablemente el porcentaje de procesos monitoreados mediante indicadores de desempeño, facilitando la identificación temprana de desviaciones y fortaleciendo la toma de decisiones.

En consecuencia, el problema central identificado en esta investigación corresponde a la ausencia de un sistema analítico que permita evaluar objetivamente la capacidad operativa y el desempeño histórico de los contratistas para apoyar las decisiones relacionadas con programación, asignación de recursos y cumplimiento de cronogramas en proyectos de vivienda.

Frente a esta problemática, se desarrolla una propuesta de un sistema de Business Intelligence (BI) orientado a integrar y analizar información histórica proveniente de cronogramas, avances de obra, rendimientos y desempeño de contratistas. A partir de esta integración, se busca construir indicadores y tableros analíticos que permitan identificar patrones de comportamiento, evaluar el desempeño operativo y fortalecer la toma de decisiones basada en datos dentro de la gestión de proyectos de construcción.

1.2 Justificación

El sector de la construcción en Colombia presenta de manera recurrente desviaciones en tiempo y costo asociadas a deficiencias en los procesos de programación y control de obra, particularmente en proyectos de vivienda. Estas afectaciones suelen relacionarse con limitaciones en la disponibilidad de mano de obra, la capacidad operativa de los contratistas y las dificultades para atender simultáneamente diferentes frentes de trabajo. En consecuencia, surge la necesidad de fortalecer los mecanismos de seguimiento y análisis que permitan identificar desviaciones operativas y fortalecer la toma de decisiones dentro de la gestión de proyectos.

En este contexto, las decisiones relacionadas con asignación de recursos, contratación de personal, evaluación del desempeño de contratistas y seguimiento del avance de obra suelen apoyarse en reportes periódicos y en información dispersa que, en muchos casos, no se encuentra integrada dentro de un sistema analítico estructurado. Esta situación limita la capacidad de visualizar tendencias operativas, detectar comportamientos recurrentes e identificar patrones asociados a desviaciones del cronograma. Como resultado, las acciones correctivas suelen implementarse de manera reactiva, afectando el cumplimiento de la programación y el desempeño general de los proyectos.

Frente a esta problemática, las herramientas de Business Intelligence (BI) representan una alternativa para integrar y transformar información histórica de ejecución en soporte analítico para la gestión de proyectos de construcción. Mediante procesos de consolidación, depuración y análisis de datos, es posible estructurar tableros analíticos que relacionen variables asociadas al avance físico, productividad, disponibilidad de personal, incidencias y comportamiento operativo de los contratistas.

De igual manera, la incorporación de información proveniente de registros biométricos de ingreso a obra permite contrastar objetivamente las cuadrillas programadas frente al personal que realmente ingresó a los proyectos durante la ejecución. Esta integración fortalece el análisis de cobertura operativa, facilita la identificación de contratistas con limitaciones en disponibilidad de mano de obra o capacidad de respuesta frente a las exigencias de programación y permite evaluar la capacidad operativa efectiva de los contratistas para atender simultáneamente múltiples frentes de trabajo en proyectos de vivienda.

En consecuencia, la propuesta contribuye al fortalecimiento del monitoreo operativo y de la toma de decisiones basada en datos, permitiendo analizar de manera más objetiva el desempeño histórico de los contratistas y su relación con el cumplimiento del cronograma. Asimismo, el desarrollo de un sistema BI aplicado al contexto de obra aporta herramientas para mejorar la trazabilidad de la información y facilitar el análisis comparativo entre proyectos.

Desde el punto de vista metodológico, el aporte principal de la investigación radica en la adaptación de herramientas de Business Intelligence al análisis del desempeño operativo de contratistas en proyectos de vivienda. Esto implica la definición de indicadores clave de desempeño (KPIs) relacionados con cumplimiento, puntualidad, cobertura operativa, incidencias y simultaneidad de ejecución entre proyectos, así como la integración de información proveniente

de programación, avance físico y registros operativos. De esta manera, se estructura un modelo analítico que permite relacionar la disponibilidad operativa real de las cuadrillas con el comportamiento del cronograma y el desempeño de ejecución de las actividades.

Finalmente, la propuesta no se limita al desarrollo tecnológico de un tablero de visualización, sino que plantea una metodología replicable para la integración y análisis histórico de información dentro de proyectos de construcción. En este sentido, el estudio contribuye al fortalecimiento de los procesos de evaluación de contratistas, la estandarización de criterios de seguimiento y el soporte analítico para futuras decisiones relacionadas con programación, asignación de recursos y gestión operativa de proyectos de vivienda.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de Business Intelligence orientado al análisis del desempeño operativo de contratistas y su incidencia en el cumplimiento de cronogramas de obra en proyectos de vivienda, mediante la integración de información histórica proveniente de Sentinel y Primavera P6.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estructurar información histórica proveniente de proyectos de vivienda gestionados mediante Sentinel y Primavera P6, incluyendo datos relacionados con cronogramas, desempeño operativo, incidencias y capacidad de atención de los contratistas.

- Desarrollar un sistema de Business Intelligence (BI) mediante Power BI que permita consolidar información histórica proveniente de Sentinel, Primavera P6 y registros biométricos, generando indicadores y visualizaciones analíticas orientadas al análisis del desempeño operativo de los contratistas, la cobertura de personal y su relación con el cumplimiento del cronograma
- Caracterizar el comportamiento histórico de los contratistas mediante indicadores asociados a cumplimiento, puntualidad, incidencias, experiencia multiproyecto y concurrencia de obras, con el fin de formular recomendaciones orientadas al fortalecimiento de los procesos de seguimiento, trazabilidad y gestión de información en Oracle Primavera P6 para futuros procesos de análisis mediante herramientas de Business Intelligence.

1.4 Alcance

La presente investigación se desarrolla en el contexto de proyectos de vivienda ejecutados por una constructora de alcance nacional, con el propósito de diseñar y evaluar un sistema de Business Intelligence (BI) orientado al análisis del desempeño operativo de los contratistas y su relación con el cumplimiento de los cronogramas de obra.

El estudio se fundamenta en el análisis de información histórica proveniente de once proyectos gestionados mediante el sistema Sentinel y cinco proyectos estructurados en Oracle Primavera P6, plataformas utilizadas por la organización para el seguimiento y control de la programación y ejecución de obra. Esta base de información permite consolidar un conjunto amplio de datos relacionados con cronogramas, avance físico, desempeño operativo, incidencias y comportamiento histórico de los contratistas.

No obstante, con el propósito de desarrollar un análisis más detallado y contextualizado, se seleccionan tres proyectos de vivienda como casos de estudio principales, los cuales presentan características representativas en términos de tipología constructiva, complejidad operativa, participación de contratistas y desviaciones históricas del cronograma. Estos proyectos permiten profundizar el análisis sobre la relación entre la capacidad operativa real de los contratistas y el comportamiento de la programación de obra.

El sistema de Business Intelligence desarrollado integra información correspondiente a diferentes actividades constructivas registradas en las bases históricas de la organización, permitiendo analizar de manera comparativa el comportamiento operativo de los contratistas, las desviaciones del cronograma, la concurrencia de proyectos y las incidencias reportadas durante la ejecución de obra. Esta integración permite obtener una visión más amplia y transversal del desempeño operativo dentro de los proyectos analizados.

Como complemento al análisis histórico de cronogramas y desempeño operativo, la investigación incorpora información proveniente de registros biométricos de ingreso de personal a obra, permitiendo contrastar las cuadrillas definidas en la planeación con el personal que realmente ingresó a los proyectos durante la ejecución. Esta integración facilita el análisis de variables asociadas a cobertura operativa, disponibilidad real de mano de obra y capacidad de respuesta de los contratistas frente a las exigencias de programación establecidas en los cronogramas.

El alcance de la investigación comprende:

- La recopilación y consolidación de información histórica relacionada con cronogramas, actividades ejecutadas, rendimientos, incidencias y desempeño de contratistas en proyectos de vivienda.

- La depuración, validación y estandarización de datos provenientes de Sentinel y Primavera P6, con el fin de garantizar su trazabilidad, consistencia y utilidad para el análisis.
- El diseño de una estructura analítica de datos orientada a la construcción de indicadores clave de desempeño (KPIs) relacionados con cumplimiento, puntualidad, retrasos, incidencias, experiencia multiproyecto y concurrencia de obras.
- El desarrollo de un sistema de Business Intelligence mediante Power BI, incorporando dashboards interactivos, filtros dinámicos y visualizaciones orientadas al análisis comparativo del desempeño de los contratistas.
- La construcción de visualizaciones analíticas relacionadas con ranking de contratistas, análisis individual de desempeño, evaluación de incidencias, curvas S de avance, experiencia multiproyecto y comportamiento histórico del cronograma.
- El análisis descriptivo de patrones de comportamiento asociados a desviaciones del cronograma, capacidad operativa, simultaneidad de proyectos e incidencias recurrentes durante la ejecución de las actividades.
- La evaluación funcional y analítica del sistema BI como herramienta de soporte para el análisis histórico y la toma de decisiones basada en datos dentro de la gestión de proyectos de construcción.
- La formulación de recomendaciones orientadas al fortalecimiento de los procesos de captura, validación y trazabilidad de información dentro de Oracle Primavera P6, plataforma utilizada actualmente por la organización para la programación y seguimiento de obra. Estas recomendaciones incluyen la identificación de variables, estructuras de registro y tipos de información que deberían incorporarse o estandarizarse

dentro de la plataforma, con el propósito de consolidar bases de datos más robustas, consistentes y útiles para futuros procesos de análisis, construcción de indicadores y desarrollo de herramientas de Business Intelligence.

La investigación no contempla la implementación corporativa definitiva del sistema dentro de la organización ni el desarrollo de modelos predictivos, algoritmos de inteligencia artificial o automatizaciones avanzadas de toma de decisiones. Asimismo, el alcance no incluye el análisis financiero detallado de los proyectos ni la evaluación contractual completa de los contratistas, concentrándose principalmente en variables operativas y de desempeño relacionadas con el cumplimiento del cronograma.

De igual manera, aunque el sistema BI incorpora información proveniente de Primavera P6, la investigación no busca reemplazar los sistemas actuales de programación y control utilizados por la organización. Por el contrario, la propuesta se orienta a complementar los procesos existentes mediante herramientas de analítica descriptiva que permitan fortalecer el análisis histórico, la trazabilidad de la información y el soporte estratégico para futuras decisiones relacionadas con la asignación y evaluación de contratistas.

Finalmente, el alcance del estudio se desarrolla bajo un enfoque de analítica descriptiva aplicada al sector construcción, demostrando el potencial del Business Intelligence para transformar información histórica dispersa en herramientas estructuradas de análisis que contribuyan al fortalecimiento del monitoreo operativo y del control de cronogramas en proyectos de vivienda.

2. MARCO DE REFERENCIA

El control del desempeño y el cumplimiento de los cronogramas en proyectos de construcción ha sido identificado de manera recurrente como uno de los principales retos del sector. En este contexto, diversas investigaciones coinciden en que los atrasos en obra no responden a una única causa, sino a la combinación de múltiples factores relacionados con la planeación, la productividad de la mano de obra, la capacidad de los contratistas y la gestión de la información durante la ejecución del proyecto. Asimismo, estos estudios no sólo identifican las causas del problema, sino que proponen diferentes enfoques para abordarlo.

En este sentido (Castelblanco Bolívar, G. 2013), plantea como respuesta la necesidad de fortalecer los procesos de planeación y seguimiento mediante la implementación de métodos definidos que permitan comparar de manera continua el avance real frente a lo programado. A partir de los hallazgos, evidencia que el uso de información basada en datos mejora la capacidad de anticipar retrasos y facilita la aplicación oportuna de acciones correctivas durante la ejecución del proyecto.

De manera complementaria, (Bello, 2018), propone el uso de indicadores de gestión como herramienta clave para superar las limitaciones de los reportes descriptivos tradicionales. Como respuesta a la falta de medición estructurada, el autor plantea la implementación de indicadores que permitan medir la productividad, el cumplimiento de plazos y la eficiencia en el uso de los recursos, con el fin de convertir los datos de obra en información útil para la toma de decisiones.

En esta misma línea, (Peña Murillo et al. 2025), abordan la problemática mediante la definición y el seguimiento continuo de indicadores de desempeño asociados al tiempo y a la productividad. Su estudio demuestra que el uso sistemático de estas métricas permite identificar

retrasos, actividades críticas y patrones de incumplimiento, convirtiéndose en una herramienta efectiva para mejorar el control del cronograma y optimizar el desempeño de los proyectos de construcción.

Por otro lado, (Vargas et al. 2020), proponen como solución la integración de metodologías de gerencia de proyectos basadas en el PMI (*Project Management Institute*) con herramientas tecnológicas como BIM (*Building Information Modeling*). Este enfoque permite integrar los procesos de planeación, ejecución y control, garantizando la disponibilidad de información confiable y actualizada para la toma de decisiones. Como resultado, se mejora la coordinación entre los actores del proyecto y se fortalece la capacidad de respuesta frente a retrasos y sobrecostos.

En concordancia con lo anterior, (Salazar, 2025), plantea la implementación de dashboards basados en Business Intelligence como una solución orientada a integrar y analizar la información del proyecto. A partir de su aplicación, evidencia que la centralización de datos provenientes de cronogramas, avances de obra y reportes operativos permite mejorar la visualización del desempeño, identificar tendencias y detectar desviaciones de manera temprana, mejorando así la calidad y oportunidad de las decisiones.

En conjunto, estos estudios coinciden en que la respuesta a los problemas de desempeño y cumplimiento de cronogramas se basa en tres elementos principales: la medición a través de indicadores, la integración de los procesos de gestión y el uso de herramientas tecnológicas para analizar la información.

No obstante, a pesar de estos avances, se identifica una oportunidad de profundizar en la aplicación de estos enfoques para analizar de manera específica el desempeño de los contratistas y su impacto en la ejecución de los cronogramas. En particular, resulta relevante abordar variables

como la capacidad operativa, la estabilidad de la productividad y la disponibilidad de mano de obra en actividades críticas, con el fin de fortalecer los mecanismos de control y mejorar el cumplimiento en proyectos de construcción.

2.1. Marco Teórico.

El presente marco teórico establece los fundamentos conceptuales que sustentan la propuesta de fortalecimiento del monitoreo y control de proyectos de construcción mediante herramientas de Business Intelligence (BI), articuladas con el enfoque de gestión PMI. En primer lugar, se abordan los principios y componentes de la inteligencia de negocios como sistema orientado a la integración, análisis y visualización de datos para la gestión analítica y el soporte estratégico basado en evidencia. Posteriormente, se desarrolla el marco de la gestión de proyectos, profundizando en el estándar PMI y en su estructura de procesos y áreas de conocimiento, especialmente en el grupo de monitoreo y control. Finalmente, se incorpora el concepto de indicadores clave de desempeño (KPIs) como sistema de medición que permite evaluar de manera objetiva el cumplimiento del cronograma, la utilización de recursos y el desempeño financiero. La articulación de estos tres elementos BI, gestión de proyectos y KPIs, constituye la base conceptual para diseñar un modelo de control que permita analizar variables críticas como la disponibilidad de trabajadores y la capacidad operativa de los contratistas, fortaleciendo así la evaluación del desempeño, el monitoreo operativo y el soporte estratégico en la constructora.

2.1.1. Business Intelligence (BI)

El concepto de Business Intelligence (BI) hace referencia al conjunto de metodologías, procesos, arquitecturas y tecnologías orientadas a transformar datos en información útil para la toma de decisiones estratégicas, tácticas y operativas dentro de una organización. Según Dresner

(1989), quien popularizó el término en la década de 1980, el BI corresponde a “un conjunto de conceptos y métodos para mejorar la toma de decisiones empresariales mediante sistemas basados en hechos”. En este sentido, el Business Intelligence no se limita únicamente a la generación de reportes, sino que implica la integración, depuración, transformación y análisis de datos provenientes de múltiples fuentes, con el objetivo de convertir información dispersa en conocimiento estructurado (Turban et al., 2011).

En el contexto empresarial, la implementación de herramientas de BI permite identificar patrones y tendencias en los datos históricos, así como detectar desviaciones frente a metas previamente establecidas, lo cual facilita la toma de acciones correctivas oportunas. Asimismo, contribuye a la generación de indicadores clave de desempeño (KPIs), los cuales permiten medir el cumplimiento de objetivos organizacionales y fortalecen la toma de decisiones basada en datos, reduciendo la incertidumbre y mejorando la eficiencia en la gestión empresarial (Sharda et al., 2014).

En este contexto, el funcionamiento del Business Intelligence se apoya en tres componentes fundamentales que estructuran el tratamiento y análisis de la información.

Proceso ETL (Extracción, Transformación y Carga): El proceso ETL permite recopilar datos desde diferentes fuentes, transformarlos para garantizar su calidad y consistencia, y cargarlos en un sistema de almacenamiento que facilite su análisis posterior (Peña, 2014).

Almacenamiento de datos: El almacenamiento de datos se realiza mediante repositorios como los Data Warehouse, los cuales organizan la información de manera estructurada para su consulta y análisis desde diferentes perspectivas (Curto Díaz, 2012).

Visualización de datos: La visualización de datos consiste en representar la información mediante gráficos y dashboards, facilitando la interpretación de los datos y apoyando la toma de decisiones (Curto Díaz, 2012).

En conjunto, estos componentes permiten comprender cómo se estructura el funcionamiento del Business Intelligence dentro de las organizaciones. No obstante, más allá de su arquitectura y procesos, es importante analizar las características que definen su aplicación y su aporte en la gestión empresarial, especialmente en contextos donde la toma de decisiones depende del análisis oportuno y confiable de la información.

Características de Business Intelligence

El Business Intelligence (BI) se caracteriza por integrar diversas funcionalidades que permiten transformar datos en información estratégica para la toma de decisiones. Una de sus principales características es la integración de datos, la cual consiste en consolidar información proveniente de múltiples fuentes, como sistemas empresariales (ERP), hojas de cálculo y bases de datos operativas, permitiendo una visión unificada de la organización (Turban et al., 2011). Asimismo, el BI tiene una clara orientación hacia la toma de decisiones, ya que no se enfoca en la operación diaria, sino en el análisis estratégico que apoya la planeación y el direccionamiento empresarial (Sharda et al., 2014).

Otra característica fundamental es el uso de indicadores y métricas, especialmente los indicadores clave de desempeño (KPIs), los cuales se encuentran alineados con los objetivos organizacionales y permiten evaluar el cumplimiento de metas. De igual manera, el BI se apoya en la visualización interactiva de la información mediante dashboards y reportes dinámicos que facilitan la interpretación de los datos por parte de los usuarios (Few, 2006). Adicionalmente, incorpora capacidades de análisis histórico y comparativo, permitiendo evaluar tendencias y

comportamientos a partir de datos históricos, lo que permite evaluar el desempeño pasado y proyectar tendencias futuras a partir del comportamiento de los datos (Sharda et al., 2014).

Finalmente, el Business Intelligence se distingue por la automatización del análisis de la información, reduciendo la dependencia de procesos manuales de consolidación y mejorando la eficiencia en la generación de reportes y análisis, lo que contribuye a una toma de decisiones más ágil y basada en datos confiables (Turban et al., 2011).

A partir de estas características, el BI puede comprenderse no solo como un conjunto de herramientas, sino como un sistema estructurado que se apoya en componentes específicos para su funcionamiento.

Ejes fundamentales del Business Intelligence para la toma de decisiones estratégicas

Los tres ejes fundamentales del Business Intelligence (BI) para convertir datos en decisiones estratégicas se estructuran en torno a la gestión de datos, el análisis de la información y la visualización del conocimiento. En primer lugar, la gestión de datos comprende los procesos de extracción, transformación y carga (ETL), mediante los cuales se recopila información desde múltiples fuentes, se depura y estandariza, y posteriormente se almacena en repositorios centralizados como los Data Warehouse. Estos repositorios están diseñados para almacenar datos históricos estructurados, diferenciándose de las bases de datos transaccionales por su enfoque en el análisis y la consulta de información para la toma de decisiones (Peña, 2014).

En segundo lugar, el eje de análisis de la información se soporta en herramientas como los sistemas de procesamiento analítico en línea (OLAP), los cuales permiten realizar análisis multidimensionales de los datos, facilitando su exploración desde diferentes perspectivas como el tiempo, los proyectos o los recursos. Asimismo, los Data Marts, como subconjuntos especializados del Data Warehouse, permiten enfocar el análisis en áreas específicas de la organización,

optimizando la interpretación de la información según las necesidades de cada área (Curto Díaz, 2012).

Finalmente, el tercer eje corresponde a la visualización del conocimiento, el cual se materializa a través de dashboards y herramientas de visualización que permiten representar los datos de manera gráfica e interactiva. Estas herramientas facilitan la comprensión de indicadores clave de desempeño (KPIs) y apoyan la toma de decisiones al hacer más accesible la información para los usuarios. En este sentido, la visualización se convierte en un elemento esencial para transformar los datos en conocimiento útil y accionable dentro de la organización (Curto Díaz, 2012).

Desde esta perspectiva, es posible identificar que el BI no solo se estructura a nivel técnico, sino que también se fundamenta en principios conceptuales que orientan su aplicación.

Fundamentos conceptuales del Business Intelligence

El Business Intelligence (BI) se fundamenta en una serie de principios conceptuales que orientan su aplicación dentro de las organizaciones. En primer lugar, se reconoce que los datos constituyen un activo estratégico, ya que a partir de su adecuada gestión es posible generar información valiosa para la toma de decisiones. En este sentido, el BI promueve el uso de información basada en evidencia, planteando que las decisiones sustentadas en datos son más efectivas y confiables que aquellas basadas únicamente en la intuición o la experiencia (Curto Díaz, 2012).

De igual manera, uno de los principios fundamentales del BI es la integración de la información, la cual permite reducir la incertidumbre al consolidar datos provenientes de diferentes fuentes en una visión unificada. Esta integración facilita el análisis organizacional y mejora la comprensión del desempeño en distintos niveles. Asimismo, se establece que la calidad de las

decisiones depende directamente de la calidad de los datos disponibles, lo que resalta la importancia de contar con información precisa, consistente y actualizada (Peña, 2014).

Por otro lado, la oportunidad en el acceso a la información se convierte en un factor clave para la generación de valor, ya que disponer de datos en el momento adecuado permite reaccionar de manera oportuna ante cambios o desviaciones.

En este marco, dichos fundamentos adquieren especial relevancia cuando se analizan en contextos aplicados, como es el caso de los proyectos de construcción.

Aplicación del Business Intelligence en proyectos de construcción

La aplicación de Business Intelligence (BI) en proyectos de construcción requiere considerar diversos factores que garantizan la efectividad del análisis y la toma de decisiones. En primer lugar, es fundamental asegurar la calidad y confiabilidad de los datos de avance, ya que la precisión de los resultados depende directamente de la veracidad de la información recolectada en obra (Love et al., 2016). Asimismo, se hace necesaria la definición clara de indicadores clave de desempeño (KPIs) asociados a la programación del proyecto, los cuales permiten medir el progreso y detectar posibles desviaciones frente a lo planificado (Project Management Institute [PMI], 2021).

De igual manera, resulta esencial la integración entre el cronograma, el presupuesto y la ejecución real de la obra, con el fin de lograr un control integral del proyecto y facilitar análisis comparativos entre lo planificado y lo ejecutado. Esta integración permite identificar de manera oportuna variaciones en costos y tiempos, fortaleciendo la gestión del proyecto (Eastman et al., 2011). Por otro lado, la estandarización en el reporte de información por parte de los contratistas es un aspecto clave para garantizar la consistencia y comparabilidad de los datos, evitando errores en la interpretación de la información (O'Brien & Plotnick, 2010).

Finalmente, la implementación de BI en el sector construcción también depende de una cultura organizacional orientada a la toma de decisiones basada en datos, en la cual los diferentes actores del proyecto adopten herramientas tecnológicas y prácticas analíticas como parte de su gestión diaria, promoviendo así una mayor eficiencia y transparencia en la ejecución de las obras (Sharda et al., 2014).

2.1.2. Gestión de Proyectos

Concepto de gestión de proyectos

La gestión de proyectos corresponde a la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas para cumplir con los requisitos de un proyecto. De acuerdo con el Project Management Institute (PMI, 2021), un proyecto se define como un esfuerzo temporal emprendido para crear un producto, servicio o resultado único. En este sentido, la gestión de proyectos implica la planificación, ejecución, monitoreo y control de un conjunto de actividades orientadas al cumplimiento de objetivos específicos dentro de restricciones definidas.

En el sector de la construcción, la gestión de proyectos adquiere una complejidad particular debido a la necesidad de equilibrar múltiples variables de manera simultánea, entre las que se destacan el alcance, el tiempo, el costo, la calidad, los recursos y los riesgos. Estas variables, comúnmente conocidas como restricciones del proyecto, deben ser gestionadas de forma integral para garantizar el éxito en la ejecución de las obras (PMI, 2021).

En este contexto, han surgido diversos enfoques metodológicos que buscan optimizar la gestión de proyectos, especialmente en entornos dinámicos como la construcción.

Enfoques de gestión de proyectos

Existen diversos enfoques metodológicos que permiten abordar la gestión de proyectos desde diferentes perspectivas, dependiendo de las características del proyecto y del nivel de incertidumbre presente.

Metodología Kanban

La metodología Kanban es un enfoque de gestión visual de proyectos que permite controlar y optimizar el flujo de trabajo mediante la representación gráfica de las tareas en diferentes etapas del proceso. Su origen se remonta al sistema de producción de Toyota, donde fue utilizada como una herramienta para mejorar la eficiencia operativa y la gestión de inventarios (Anderson, 2010). En el contexto actual, Kanban se ha adaptado a diversos sectores, incluyendo la gestión de proyectos, donde facilita el seguimiento y control de actividades en entornos dinámicos.

Desde el punto de vista metodológico, Kanban involucra la visualización del flujo de trabajo a través de tableros, en los cuales las tareas se organizan en columnas que representan estados del proceso, tales como “pendiente”, “en proceso” y “finalizado”. Esta estructura permite identificar de manera clara el estado de cada actividad y detectar posibles cuellos de botella que afectan el desempeño del proyecto (Anderson, 2010). Asimismo, la metodología incorpora la limitación del trabajo en curso (Work in Progress, WIP), lo que contribuye a evitar la sobrecarga de tareas y a mejorar la eficiencia del equipo.

En cuanto a su desarrollo, Kanban se fundamenta en la gestión continua del flujo de trabajo, promoviendo mejoras progresivas en los procesos sin necesidad de cambios disruptivos. A diferencia de otras metodologías, no impone una estructura rígida, sino que se adapta a las condiciones existentes del proyecto, permitiendo su implementación de manera flexible y

evolutiva (Ahmad, Markkula, y Oivo, 2013). Este enfoque favorece la mejora continua, ya que permite identificar oportunidades de optimización a partir del análisis del flujo de actividades.

Entre sus principales características se destacan la visualización del trabajo, la gestión del flujo, la limitación del trabajo en proceso, la definición explícita de políticas de trabajo y la implementación de ciclos de retroalimentación continua. Estas características facilitan la coordinación entre los equipos y mejoran la transparencia en la ejecución de las actividades, permitiendo una toma de decisiones más informada (Anderson, 2010).

En términos de aplicación, Kanban es ampliamente utilizado en entornos donde las actividades presentan variabilidad y requieren seguimiento constante, como en proyectos de desarrollo de software y en procesos operativos. En el sector de la construcción, su uso se ha extendido a la gestión de actividades repetitivas y de corto plazo, como la programación semanal de obra, el seguimiento de tareas por frentes de trabajo y la coordinación de contratistas, permitiendo una mejor organización y control del avance (Tezel, Koskela, & Tzortzopoulos, 2016).

No obstante, la metodología Kanban también presenta ciertas limitaciones. Entre ellas, se destaca que no define de manera explícita roles ni estructuras organizacionales, lo que puede generar ambigüedad en equipos con baja madurez en gestión de proyectos. Asimismo, su enfoque en el flujo de trabajo puede resultar insuficiente para proyectos que requieren planificación detallada a largo plazo, como es el caso de grandes obras de construcción. Adicionalmente, la efectividad de Kanban depende en gran medida de la disciplina del equipo en la actualización de la información, lo que puede afectar la confiabilidad del sistema si no se gestiona adecuadamente (Ahmad et al., 2013).

En este sentido, Kanban se configura como una herramienta complementaria dentro de la gestión de proyectos de construcción, especialmente útil para el control operativo y la mejora continua, pero que requiere ser integrada con metodologías tradicionales de planificación para lograr un control integral del proyecto.

Metodología Lean

La metodología Lean es un enfoque de gestión orientado a la maximización del valor y la eliminación sistemática de desperdicios dentro de los procesos productivos. Su origen se encuentra en el sistema de producción de Toyota, desarrollado en Japón a mediados del siglo XX, el cual revolucionó la manera de gestionar operaciones al centrarse en la eficiencia, la calidad y la mejora continua (Womack & Jones, 1996). Posteriormente, estos principios fueron adaptados a distintos sectores, incluyendo la construcción, bajo el concepto de Lean Construction (Koskela, 1992).

Desde el punto de vista metodológico, Lean involucra la identificación y eliminación de actividades que no generan valor para el cliente, conocidas como desperdicios, tales como tiempos de espera, sobreproducción, reprocesos, movimientos innecesarios y exceso de inventario. En este sentido, la metodología busca optimizar los procesos mediante la mejora del flujo de trabajo y la reducción de ineficiencias, lo que contribuye a incrementar la productividad y la calidad de los resultados (Womack & Jones, 1996).

En cuanto a su desarrollo, Lean se fundamenta en una serie de principios que orientan la gestión de los procesos. Entre ellos se destacan la definición del valor desde la perspectiva del cliente, la identificación del flujo de valor, la eliminación de desperdicios, la creación de flujo continuo en los procesos y la búsqueda permanente de la mejora continua, también conocida como Kaizen. Estos principios permiten estructurar un sistema de gestión enfocado en la eficiencia operativa y en la generación de valor agregado (Koskela, 1992).

En términos de características, la metodología Lean se distingue por su enfoque en el cliente, la optimización del flujo de trabajo, la reducción de variabilidad en los procesos, la mejora continua y la participación activa de los equipos de trabajo en la identificación de oportunidades de mejora. Asimismo, promueve una cultura organizacional basada en la colaboración, la transparencia y la toma de decisiones fundamentadas en el análisis de procesos (Womack & Jones, 1996).

En el contexto de la construcción, Lean Construction introduce herramientas específicas como el Last Planner System, el cual permite mejorar la planificación y el control de la producción mediante la participación de los diferentes actores del proyecto. Asimismo, incorpora prácticas como el control de producción semanal, la medición del porcentaje de cumplimiento del plan y el análisis de causas de incumplimiento, las cuales contribuyen a mejorar la confiabilidad de la programación y la eficiencia en la ejecución de las obras (Ballard, 2000).

No obstante, la implementación de Lean también presenta ciertas limitaciones. Entre ellas, se destaca que su adopción requiere un cambio cultural significativo dentro de la organización, lo cual puede generar resistencia por parte de los equipos de trabajo. Asimismo, su efectividad depende del compromiso de todos los actores del proyecto, lo que puede dificultar su aplicación en entornos con múltiples contratistas y baja integración. Adicionalmente, Lean no sustituye completamente los métodos tradicionales de planificación, ya que no aborda de manera directa la programación detallada a largo plazo ni el análisis financiero del proyecto, por lo que debe ser complementado con otras herramientas de gestión (Ballard, 2000).

En este sentido, la metodología Lean se configura como un enfoque clave para mejorar la eficiencia operativa en proyectos de construcción, al promover la optimización de procesos y la

generación de valor, aunque su implementación requiere ser integrada con otros sistemas de gestión para lograr un control integral del proyecto.

Método de la Ruta Crítica (CPM)

El Método de la Ruta Crítica (Critical Path Method, CPM) es una técnica de planificación y control de proyectos orientada a la programación de actividades y a la optimización del tiempo de ejecución. Este método fue desarrollado a finales de la década de 1950 por DuPont y Remington Rand para la gestión de proyectos industriales de gran escala, y desde entonces se ha consolidado como una de las herramientas más utilizadas en la gestión de proyectos, especialmente en el sector de la construcción (Kerzner, 2017).

Desde el punto de vista metodológico, el CPM involucra la descomposición del proyecto en un conjunto de actividades claramente definidas, la identificación de las relaciones de precedencia entre dichas actividades y la estimación de su duración. A partir de esta información, se construye una red de actividades que permite analizar el flujo del proyecto y determinar la secuencia lógica de ejecución (PMI, 2021).

En cuanto a su desarrollo, el método se basa en el cálculo de los tiempos tempranos y tardíos de inicio y finalización de cada actividad, lo que permite identificar aquellas que presentan restricciones críticas dentro del cronograma. Este análisis conduce a la determinación del camino crítico, definido como la secuencia de actividades cuya holgura total es igual a cero, de modo que cualquier retraso en una de ellas impacta directamente la duración total del proyecto (Kerzner, 2017).

Entre las principales características del CPM se encuentra su enfoque estructurado y cuantitativo, el cual permite modelar el proyecto de manera lógica y secuencial. Asimismo, facilita la identificación de actividades críticas, el análisis de holguras y la evaluación de diferentes

escenarios de programación. En este sentido, el método incorpora conceptos clave como la holgura total, entendida como el tiempo que una actividad puede retrasarse sin afectar la duración total del proyecto, y la holgura libre, que corresponde al tiempo que puede retrasarse sin afectar la actividad sucesora inmediata (PMI, 2021).

En términos de aplicación, el CPM es ampliamente utilizado en proyectos de construcción para la elaboración de cronogramas base, la planificación de actividades, la identificación de hitos críticos y la evaluación del impacto de retrasos en el desarrollo del proyecto. Asimismo, permite realizar procesos de reprogramación y análisis de alternativas para optimizar la duración del proyecto, lo que lo convierte en una herramienta fundamental para la gestión del tiempo en obra (Kerzner, 2017).

No obstante, el método presenta ciertas limitaciones. En primer lugar, el CPM se enfoca principalmente en la dimensión temporal del proyecto, sin integrar de manera directa variables como los costos, la productividad o el desempeño operativo. Asimismo, asume duraciones determinísticas de las actividades, lo que puede no reflejar la incertidumbre propia de los proyectos de construcción. Adicionalmente, su efectividad depende de la calidad de la información utilizada en la planificación, lo que puede afectar la confiabilidad de los resultados si los datos no son precisos o actualizados (PMI, 2021).

En este sentido, aunque el CPM constituye una herramienta fundamental para la planificación y control del tiempo en proyectos de construcción, su aplicación requiere ser complementada con otros enfoques y herramientas, como el método del Valor Ganado o los sistemas de Business Intelligence, que permitan integrar variables adicionales y fortalecer la toma de decisiones en el proyecto.

Metodología del Project Management Institute (PMI)

El enfoque del Project Management Institute (PMI) constituye uno de los estándares más reconocidos a nivel mundial en la gestión de proyectos, al proporcionar un marco estructurado basado en buenas prácticas aplicables a diversos sectores, incluido el de la construcción. Este enfoque se encuentra consolidado en la guía *Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, la cual establece lineamientos para la planificación, ejecución, monitoreo y control de proyectos de manera integral (Project Management Institute [PMI], 2021).

A diferencia de metodologías específicas como Lean o el Método de la Ruta Crítica (CPM), el PMI no se concibe como una técnica aislada, sino como un sistema de gestión que articula procesos, áreas de conocimiento y principios orientados a garantizar el cumplimiento de los objetivos del proyecto. En este sentido, el PMI propone una visión sistémica en la cual las diferentes dimensiones del proyecto —alcance, tiempo, costo, calidad, recursos y riesgos— se encuentran interrelacionadas, lo que resulta especialmente relevante en el sector de la construcción, donde las decisiones en una variable impactan directamente el desempeño global del proyecto (PMI, 2021).

Estructura del enfoque PMI

El enfoque PMI se organiza a partir de dos componentes fundamentales: los grupos de procesos y las áreas de conocimiento, los cuales permiten estructurar la gestión del proyecto de manera integral.

En primer lugar, los grupos de procesos corresponden a conjuntos de actividades que se desarrollan a lo largo del ciclo de vida del proyecto, incluyendo inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control, y cierre. Estos grupos no deben interpretarse como fases estrictamente

secuenciales, sino como procesos que interactúan de manera dinámica durante el desarrollo del proyecto, permitiendo ajustes continuos en función del desempeño observado (PMI, 2021).

En segundo lugar, el PMI define un conjunto de áreas de conocimiento que estructuran la gestión integral del proyecto, entre las cuales se incluyen la gestión del alcance, del cronograma, de los costos, de la calidad, de los recursos, de las comunicaciones, de los riesgos, de las adquisiciones y de los interesados. Estas áreas permiten organizar y gestionar de manera específica cada uno de los componentes del proyecto, asegurando un control adecuado sobre sus diferentes dimensiones (PMI, 2021).

En el contexto de los proyectos de construcción, las áreas relacionadas con la gestión del cronograma, los costos, los recursos y las adquisiciones adquieren especial relevancia, debido a la alta dependencia de mano de obra, la necesidad de coordinación entre múltiples contratistas y las restricciones financieras que pueden afectar la ejecución del proyecto. En este sentido, una adecuada gestión de estas áreas resulta fundamental para garantizar la viabilidad y el éxito del proyecto.

Monitoreo y control en el enfoque PMI

Uno de los componentes más relevantes del enfoque PMI es el grupo de procesos de monitoreo y control, el cual tiene como propósito realizar un seguimiento continuo del desempeño del proyecto en relación con la planificación establecida. Este proceso permite comparar el desempeño real con la línea base del proyecto, identificar desviaciones, analizar sus causas y definir acciones correctivas o preventivas que permitan mantener el proyecto dentro de los objetivos definidos (PMI, 2021).

Dentro de este grupo de procesos, el Análisis del Valor Ganado (Earned Value Management, EVM) se constituye como una de las herramientas más relevantes para la integración

de las dimensiones de tiempo y costo. Este método permite evaluar el desempeño del proyecto a partir de indicadores cuantitativos como el Índice de Desempeño del Cronograma (Schedule Performance Index, SPI), el Índice de Desempeño de Costos (Cost Performance Index, CPI), la Variación del Cronograma (Schedule Variance, SV) y la Variación de Costos (Cost Variance, CV). Estos indicadores permiten medir de manera objetiva el avance del proyecto y detectar desviaciones frente a lo planificado (PMI, 2021; Kerzner, 2017).

En proyectos de construcción, el uso del EVM resulta especialmente útil, ya que permite identificar de manera temprana problemas asociados a retrasos en la ejecución, sobrecostos o ineficiencias en el uso de recursos, facilitando la toma de decisiones oportunas para mitigar sus efectos.

Justificación de la selección del enfoque PMI

La metodología del Project Management Institute (PMI) se selecciona como marco metodológico del presente trabajo debido a su enfoque integral y estructurado para la gestión de proyectos. A diferencia de metodologías específicas que se concentran únicamente en la eficiencia operativa o en la programación temporal, el PMI propone un sistema completo que articula alcance, tiempo, costo, recursos, riesgos, adquisiciones y comunicaciones dentro de un modelo de gestión estandarizado (PMI, 2021). Esta visión sistémica resulta especialmente pertinente en proyectos de construcción, donde las variables técnicas, operativas y financieras se encuentran estrechamente interrelacionadas.

Uno de los aspectos determinantes para la selección del enfoque PMI es su énfasis en el monitoreo y control del desempeño del proyecto. En el contexto de la constructora objeto de estudio, esta característica resulta fundamental, ya que permite evaluar de manera objetiva el cumplimiento del cronograma, el comportamiento de los costos y la utilización de los recursos. La

problemática identificada, relacionada con la disponibilidad de trabajadores, la capacidad operativa de los contratistas y sus posibles restricciones financieras, se manifiesta en desviaciones del cronograma y variaciones frente a lo planificado, por lo que un enfoque orientado al control resulta coherente con los objetivos de la investigación.

Asimismo, el PMI facilita la aplicación de herramientas cuantitativas como el Análisis del Valor Ganado (EVM), el Índice de Desempeño del Cronograma (SPI) y el Índice de Desempeño de Costos (CPI), los cuales permiten integrar las dimensiones de tiempo y presupuesto en un mismo sistema de medición. Estos indicadores constituyen una base técnica sólida para la implementación de herramientas de Business Intelligence, ya que proporcionan variables estructuradas que pueden ser modeladas, analizadas y visualizadas mediante tableros de control (Kerzner, 2017).

Adicionalmente, la elección de esta metodología responde a su amplia aplicación en el sector de la construcción y a su reconocimiento internacional como estándar de buenas prácticas. Su estructura facilita la estandarización de procesos dentro de la organización, permitiendo que los mecanismos de control desarrollados en el marco de este trabajo puedan replicarse en futuros proyectos. De esta manera, el aporte no se limita a un caso específico, sino que puede consolidarse como un modelo organizacional de seguimiento y control.

Finalmente, la relación entre el enfoque PMI y el presente trabajo de grado se fundamenta en la complementariedad entre la metodología de gestión y las herramientas analíticas. Mientras el PMI define qué debe planificarse, ejecutarse y controlarse en un proyecto, el Business Intelligence fortalece el cómo se analiza, interpreta y presenta la información para la toma de decisiones. En consecuencia, la adopción del PMI como marco metodológico permite estructurar técnicamente el sistema de indicadores que será soportado por herramientas de BI, generando un

modelo integral que articula la gestión de proyectos con el análisis de datos para abordar problemáticas asociadas a la disponibilidad de personal y a la capacidad operativa de los contratistas.

Estos enfoques se incorporan como referencia conceptual para estructurar el análisis y la definición de indicadores, sin que ello implique la implementación completa de dichas metodologías dentro del sistema desarrollado.

2.1.3. Técnicas metodológicas para la medición de la gestión de proyectos

La medición de la gestión de proyectos constituye un componente fundamental dentro del proceso de monitoreo y control, ya que permite evaluar de manera objetiva el desempeño real frente a la planificación inicial. En el marco metodológico del Project Management Institute (PMI), la medición no se limita al seguimiento del cronograma, sino que integra variables de alcance, costos, calidad, recursos y riesgos, con el fin de garantizar el cumplimiento de los objetivos del proyecto (Project Management Institute [PMI], 2021). En este sentido, la medición se configura como un proceso sistemático que permite transformar datos operativos en información relevante para la toma de decisiones.

Dentro de este enfoque, existen diversas técnicas metodológicas que permiten evaluar el desempeño del proyecto desde diferentes dimensiones, entre las cuales se destacan el Método de la Ruta Crítica (CPM), los Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) y el Análisis del Valor Ganado (EVM), cada una con un aporte específico dentro del proceso de control.

El Método de la Ruta Crítica (Critical Path Method, CPM) es una técnica de programación que permite determinar la duración mínima del proyecto mediante la identificación de la secuencia de actividades críticas. Desde la perspectiva de la medición, el CPM facilita el seguimiento de las actividades que no cuentan con margen de retraso, así como el análisis de las holguras en las

actividades no críticas, lo que permite priorizar recursos y tomar decisiones oportunas frente a posibles desviaciones en el cronograma. En el sector de la construcción, esta técnica resulta fundamental para el control del tiempo y la gestión eficiente de los recursos (Project Management Institute [PMI], 2021; López Paredes, 2015).

Por su parte, los Indicadores Clave de Desempeño (Key Performance Indicators, KPIs) constituyen métricas cuantificables que permiten evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos del proyecto. Estos indicadores deben estar alineados con las áreas de conocimiento definidas por el PMI y responder a los factores críticos del proyecto. En el contexto de la construcción, los KPIs permiten medir variables como el cumplimiento del cronograma, el avance físico frente a lo programado, la productividad de las cuadrillas, las desviaciones presupuestales y el desempeño de los contratistas. La adecuada definición y seguimiento de estos indicadores permite transformar datos operativos en información estratégica, especialmente cuando se integran en sistemas de Business Intelligence (Parmenter, 2015; Pérez, 2010).

Finalmente, el Análisis del Valor Ganado (Earned Value Management, EVM) es una técnica que integra las variables de alcance, tiempo y costo en un único sistema de medición del desempeño. Esta metodología permite comparar el valor planificado del trabajo con el valor realmente ejecutado y el costo incurrido, a partir de variables como el Valor Planificado (Planned Value, PV), el Valor Ganado (Earned Value, EV) y el Costo Real (Actual Cost, AC). A partir de estas variables, se calculan indicadores como el Índice de Desempeño del Cronograma (SPI), el Índice de Desempeño de Costos (CPI), la Variación del Cronograma (SV) y la Variación de Costos (CV), los cuales permiten evaluar de manera objetiva el estado del proyecto y detectar desviaciones de forma temprana (Project Management Institute [PMI], 2021; López Paredes, 2015).

En el contexto de los proyectos de construcción, la aplicación de estas técnicas resulta especialmente relevante debido a la alta incidencia de variaciones en tiempo y costo, las cuales pueden generar impactos significativos en la viabilidad del proyecto. En este sentido, la medición del desempeño no solo permite identificar desviaciones, sino que también proporciona una base cuantitativa para la implementación de herramientas de Business Intelligence, facilitando la visualización, análisis e interpretación de la información para la toma de decisiones estratégicas.

Bajo este enfoque, los indicadores de desempeño adquieren un papel fundamental al estructurar la información operativa en métricas medibles y comparables. Como se muestra en la Tabla 1, estos indicadores integran variables clave como el valor planificado, el valor ganado y el costo real, permitiendo construir métricas como el índice de desempeño del cronograma (SPI) y el índice de desempeño de costos (CPI), los cuales son ampliamente utilizados para el seguimiento y control en proyectos de construcción.

En consecuencia, la incorporación de estos indicadores en sistemas de análisis de datos contribuye a fortalecer la toma de decisiones, al facilitar la identificación oportuna de desviaciones y mejorar la eficiencia operativa de los proyectos.

Tabla 1. Indicadores para la medición del desempeño en proyectos de construcción.

Concepto / Indicador	Definición / Fórmula	Interpretación / Aplicación
Análisis del Valor Ganado (EVM)	Técnica que integra alcance, tiempo y costo para medir el desempeño del proyecto.	Permite evaluar el estado del proyecto de manera integral.
PV (Planned Value)	Valor del trabajo planificado.	Representa la línea base del cronograma y presupuesto.
EV (Earned Value)	Valor del trabajo ejecutado.	Refleja el avance real del proyecto.
AC (Actual Cost)	Costo real incurrido.	Permite evaluar el gasto real del proyecto.
Productividad	Relación entre producción y recursos utilizados.	Mide la eficiencia en la ejecución.
Avance físico	Progreso real de las actividades.	Permite comparar ejecución vs. planificación.
Cumplimiento contractual	Grado de cumplimiento de condiciones contractuales.	Evalúa el desempeño del contratista.
Rotación de personal	Cambio de trabajadores en el proyecto.	Identifica inestabilidad en la mano de obra.
SPI (Índice de desempeño del cronograma)	$SPI = EV / PV$	>1 adelantado, $=1$ en tiempo, <1 retrasado.
CPI (Índice de desempeño de costos)	$CPI = EV / AC$	>1 eficiente, <1 sobrecosto.
SV (Variación del cronograma)	$SV = EV - PV$	Indica adelanto o retraso en el proyecto.
CV (Variación de costos)	$CV = EV - AC$	Identifica sobrecostos o ahorros.
Avance físico vs programado	$(\text{Avance real} / \text{Avance programado}) \times 100$	Mide cumplimiento del cronograma.
Productividad por cuadrilla	Cantidad ejecutada / Horas trabajadas	Evalúa eficiencia de la mano de obra.
Cumplimiento de contratistas	$(\text{Actividades cumplidas} / \text{Actividades programadas}) \times 100$	Mide desempeño frente al cronograma.
Rotación de personal	$(\text{Retiros} / \text{Total trabajadores}) \times 100$	Detecta inestabilidad en el equipo.

Elaboración propia con base en PMI (2021), Kerzner (2017) y Parmenter (2015).

3. CONTEXTO DE LA ORGANIZACIÓN

La organización objeto de estudio es una constructora de gran relevancia a nivel nacional, especializada en el desarrollo de proyectos de vivienda, con un portafolio amplio de obras ejecutadas de manera simultánea en distintas etapas (planeación, ejecución y cierre). Debido a su tamaño y volumen de proyectos, la compañía gestiona múltiples contratistas de obra, quienes participan de forma paralela en diferentes frentes y proyectos.

La empresa cuenta con herramientas formales de planeación y control, destacándose el uso histórico de Sentinel como fuente de información de proyectos ejecutados anteriormente y el uso actual de Oracle Primavera P6 como plataforma principal para la programación y seguimiento de obras. Sin embargo, los procesos de adjudicación y control de contratistas no siempre integran de manera estructurada información real sobre la capacidad operativa de cada contratista, incluyendo disponibilidad de personal, cuadrillas y equipos, lo cual genera riesgos operativos que pueden afectar el cumplimiento del cronograma y la ejecución de los proyectos.

Situación actual del proceso y problemática identificada

Actualmente, el proceso de seguimiento y control del avance de obra, así como la adjudicación de contratos, se realiza a partir de una revisión general de la ocupación de los contratistas. Este análisis se centra principalmente en el número de obras activas que tiene cada contratista al momento de una nueva adjudicación, sin considerar de forma detallada la capacidad real de personal y recursos disponibles para atender las necesidades específicas de cada proyecto.

Esta forma de evaluación presenta varias limitaciones. En primer lugar, no se valida si el contratista cuenta con el número suficiente de cuadrillas, mano de obra calificada o equipos requeridos para cumplir con los rendimientos y plazos establecidos en el cronograma. En segundo lugar, la información utilizada para la toma de decisiones se encuentra dispersa y, en muchos casos,

se basa en criterios cualitativos o experiencia previa, más que en datos consolidados y medibles, porque aunque existe información operativa disponible, esta no se encuentra integrada

Como consecuencia, se han identificado problemáticas recurrentes en los proyectos, tales como:

- **Atrasos en el cronograma**, derivados de una baja capacidad real de personal por parte de los contratistas.
- **Desistimiento o incumplimiento de contratistas**, lo que obliga a realizar intervenciones adicionales y genera impactos económicos y operativos en los proyectos
- **Reprocesos y sobrecostos**, asociados a deficiencias en la calidad de las actividades ejecutadas.

Comportamiento actual del problema en la organización

La ausencia de una herramienta integrada que permita contrastar la capacidad real de los contratistas con las exigencias del cronograma genera que los riesgos operativos se identifiquen de manera tardía, generalmente cuando el proyecto ya se encuentra en ejecución. Esta situación limita la implementación de acciones preventivas y conduce a una gestión predominantemente reactiva.

En este contexto, cuando los contratistas no alcanzan el ritmo de ejecución requerido o presentan una capacidad insuficiente de mano de obra para cumplir con las duraciones planificadas, la práctica habitual consiste en intervenir las actividades críticas mediante la vinculación de contratistas adicionales. Esta medida se implementa, en la mayoría de los casos, recurriendo a contratistas que ya se encuentran activos en otros proyectos de la organización, con el propósito de mitigar de forma inmediata los atrasos identificados.

Sin embargo, esta estrategia genera un efecto de desplazamiento de recursos, ya que los contratistas reasignados deben distribuir su personal entre múltiples obras. Como consecuencia, se incrementa el riesgo de afectar el avance de los proyectos de origen, reproduciendo la problemática de retrasos en otros frentes de trabajo. Este comportamiento evidencia la falta de una evaluación integral y anticipada de la capacidad operativa de los contratistas, así como la inexistencia de herramientas que permitan visualizar de manera consolidada el impacto de estas decisiones sobre el cumplimiento global de los cronogramas.

En este sentido, la dinámica operativa descrita pone de manifiesto la necesidad de contar con un sistema de información integrado que permita analizar de forma objetiva la capacidad disponible de los contratistas, su carga de trabajo simultánea y su desempeño histórico. Esto facilitaría la toma de decisiones preventivas y reduciría la dependencia de intervenciones reactivas que afectan múltiples proyectos.

De esta manera, los casos de estudio se constituyen en una base empírica para analizar la relación entre la capacidad operativa, la productividad y el cumplimiento de las actividades, cuyo detalle específico será abordado en las fases posteriores de la metodología. En consecuencia, esta contextualización establece el marco general del estudio, asegurando la coherencia entre el entorno organizacional, la problemática identificada y el enfoque metodológico adoptado.

4. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque aplicado, con un diseño metodológico de estudio de caso múltiple, orientado a la implementación de un sistema de *Business Intelligence (BI)* para el análisis del desempeño de los contratistas y su impacto en el cumplimiento de los cronogramas de obra en tres proyectos de vivienda.

La metodología contempla la participación articulada de varias áreas estratégicas de la organización, cuya intervención resulta fundamental para garantizar la calidad, confiabilidad y trazabilidad de la información analizada. Entre estas se incluyen: la Dirección de Obra, responsable del seguimiento operativo y del registro de avances en campo; el área de Planeación, encargada de la elaboración, control y actualización de los cronogramas; el área de Contratación, responsable de la gestión contractual y la relación con los contratistas; el equipo de Control de Calidad, encargado de la verificación técnica de las actividades ejecutadas; y la Gerencia, que define lineamientos estratégicos y supervisa el desempeño general de los proyectos.

La integración de estas áreas permite consolidar una visión integral del comportamiento real de los proyectos, facilitando el análisis sistemático del desempeño de los contratistas y su incidencia directa en la programación de obra, bajo criterios homogéneos y metodológicamente consistentes.

Fases de la Metodología

La metodología se estructura en seis fases secuenciales, cada una con objetivos y actividades claramente definidos:

4.1. Fase 0. Definición de conceptos y contextualización

Objetivo: Recolectar y estructurar el contexto teórico y operativo del estudio. En esta fase se realiza la contextualización de los casos de estudio, considerando el tipo de

proyecto, sus características técnicas, operativas y nivel de complejidad. Adicionalmente, se desarrolla el marco teórico del sistema de *Business Intelligence*, identificando modelos existentes, sus fundamentos conceptuales y su aplicación en proyectos de ingeniería y gestión de cronogramas.

4.2. Fase 1. Diagnóstico de la situación actual

Objetivo: Caracterizar el estado actual de la gestión de contratistas y cronogramas.

En el marco del presente proyecto de grado, se propone el desarrollo de un sistema de Business Intelligence (BI) orientado al seguimiento y análisis del desempeño de los contratistas en proyectos de vivienda. Para ello, se adopta un enfoque metodológico que combina el análisis de información histórica con el estudio detallado de casos específicos dentro de la organización.

En este sentido, para el desarrollo de la fase de diagnóstico, se consideran como base los casos de estudio seleccionados, a partir de los cuales se realiza el levantamiento y análisis de información relacionada con contratistas, cronogramas base, duraciones planificadas, rendimientos esperados y resultados reales de ejecución, con especial énfasis en las actividades de acabados que presentan mayores desviaciones.

4.2.1. Contextualización de los Casos de Estudio

Como punto de partida, el presente estudio considera información histórica correspondiente a un total de once proyectos de construcción gestionados mediante el sistema Sentinel, plataforma utilizada por la compañía hasta el año anterior para el control y seguimiento de proyectos. Complementariamente, se incorpora información proveniente de cinco proyectos administrados actualmente en Oracle Primavera P6, herramienta implementada por la organización para la programación y seguimiento operativo de las obras en ejecución.

La integración de estas fuentes de información permite estructurar una base histórica y operativa orientada al análisis del desempeño de contratistas, el comportamiento de los cronogramas y las condiciones asociadas a la capacidad operativa de ejecución. A partir de esta información, el sistema de Business Intelligence propuesto consolida variables relacionadas con programación, avance físico, productividad, incidencias, asignación de recursos y comportamiento operativo de las cuadrillas de trabajo.

Si bien el análisis general del tablero contempla la totalidad de los proyectos históricos y actuales considerados dentro del estudio, se seleccionan tres proyectos de vivienda, actualmente en fase de cierre, para profundizar el análisis relacionado con la capacidad operativa real de los contratistas. Esta selección responde a la disponibilidad de información consolidada proveniente de registros biométricos de ingreso de personal, lo cual permite contrastar las cuadrillas programadas frente al personal que efectivamente ingresó a obra durante la ejecución de las actividades.

Los proyectos seleccionados corresponden a tres proyectos de vivienda de una misma constructora, identificados de manera anonimizada como OBRA 1, OBRA 2 y OBRA 3.

- OBRA 1: Proyecto de vivienda No VIS conformado por 312 apartamentos.
- OBRA 2: Proyecto de vivienda No VIS conformado por 144 apartamentos.
- OBRA 3: Proyecto de vivienda VIS conformado por 324 apartamentos

La selección de estos proyectos responde a criterios técnicos asociados a la problemática central del estudio, particularmente en lo relacionado con desviaciones operativas, disponibilidad de personal y cumplimiento del cronograma. El análisis preliminar evidencia que dichas desviaciones se concentran principalmente en actividades de acabados, caracterizadas por una alta dependencia de mano de obra y mayores exigencias operativas durante la ejecución.

Adicionalmente, los proyectos presentan características comparables en términos de tipología constructiva, simultaneidad de ejecución y participación de contratistas en múltiples obras, condiciones que permiten analizar comportamientos relacionados con distribución de recursos, cobertura operativa y capacidad efectiva de atención de diferentes frentes de trabajo. Estas condiciones convierten a los proyectos seleccionados en escenarios representativos para profundizar el análisis de la relación entre la planeación operativa definida en los cronogramas y la capacidad real de ejecución evidenciada mediante los registros biométricos de ingreso de personal.

En cuanto a la gestión de la información, el estudio prioriza el uso de datos históricos provenientes de Sentinel debido a su trazabilidad y consolidación histórica de programación y avance de obra. Por su parte, la incorporación de proyectos administrados mediante Primavera P6 permite complementar el análisis desde una perspectiva operativa actual, fortaleciendo la estructura del sistema BI y las recomendaciones asociadas a la gestión de información y seguimiento de proyectos dentro de la organización.

Como se presenta en la Tabla 2, la comparación entre la duración planificada y la duración real de los proyectos evidencia desviaciones significativas en los proyectos analizados. Estas variaciones no corresponden a eventos aislados, sino a patrones recurrentes asociados a limitaciones operativas, disponibilidad de recursos y comportamiento de ejecución de las actividades críticas dentro de los cronogramas de obra.

La Tabla 2 fue construida a partir de la base de datos histórica suministrada por el equipo de programación de la organización, la cual corresponde a proyectos gestionados previamente mediante la herramienta Sentinel, utilizada en ese momento para el registro y seguimiento del

avance de obra. Esta plataforma se alimentaba a partir de los reportes periódicos generados por los residentes, consolidando la información de ejecución de cada actividad.

Tabla 2. Comparación entre duración planificada y duración real de los proyectos seleccionados.

Proyecto	Duración planificada (meses)	Duración real (meses)	Variación (meses)	Estado actual
Obra 1	26	28	2,0	Cierre
Obra 2	20,6	21,6	1,0	Cierre
Obra 3	15,0	15,5	0,5	Cierre

Elaboración propia con información histórica proveniente de Sentinel correspondiente a los proyectos de estudio de caso.

En este contexto, las duraciones reales y las desviaciones en meses corresponden tanto al estado de avance de los proyectos a la fecha de corte del análisis como a la proyección de finalización estimada por el sistema, calculada en función del desempeño del cronograma. Esto implica que los valores de variación reflejan no sólo el comportamiento histórico de ejecución, sino también el impacto proyectado de las desviaciones sobre la fecha final de los proyectos.

La utilización de información proveniente de Sentinel responde a la disponibilidad de datos históricos más consolidados y estructurados, lo que permitió realizar un análisis más consistente. Adicionalmente, esta herramienta contaba con la asignación directa de contratistas a cada actividad, facilitando la trazabilidad y el análisis de la relación entre la ejecución, la capacidad operativa y el cumplimiento del cronograma.

Estas desviaciones se encuentran principalmente asociadas a actividades críticas de acabados, lo cual refuerza la pertinencia de los proyectos seleccionados como base para el análisis. En consecuencia, los resultados observados constituyen un criterio fundamental para su elección como casos de estudio, al evidenciar comportamientos repetitivos que pueden ser analizados mediante herramientas de Business Intelligence.

Para el desarrollo del caso de estudio se definieron tres actividades clave de acabados (pintura, enchapes y detallado de obra gris), las cuales serán analizadas de manera transversal en las tres obras seleccionadas. Estas actividades fueron identificadas como críticas debido a que, a partir del análisis de los cronogramas y reportes históricos de avance, concentran las mayores desviaciones en tiempo y representan un impacto significativo en la duración total de los proyectos.

La Tabla 3 presenta la desviación en la duración de las actividades de enchapes, pintura y detallado de obra gris para los proyectos analizados, permitiendo identificar variaciones frente a la planificación inicial. En términos generales, se evidencian diferencias en el comportamiento de los proyectos NO VIS (Obra 1 y Obra 2) frente al proyecto VIS (Obra 3). Mientras que en los proyectos NO VIS predominan las desviaciones positivas, asociadas a retrasos en la ejecución de las actividades, el proyecto VIS muestra un comportamiento más equilibrado, con presencia tanto de atrasos como de adelantos.

Tabla 3. *Desviación en actividades críticas.*

Proyecto	Actividad	Duración planificada (días)	Duración ejecutada (días)	Desviación (días)	Desviación (%)
Obra 1	Enchapes	479	553	74	15,45 %
Obra 1	Pintura	558	619	61	10,93 %
Obra 1	Detallado de obra gris	441	581	140	31,75 %
Obra 2	Enchapes	331	357	26	7,85 %
Obra 2	Pintura	394	492	98	24,87 %
Obra 2	Detallado de obra gris	279	210	-69	-24,73 %
Obra 3	Enchapes	201	179	-22	-10,95 %
Obra 3	Pintura	217	253	36	16,59 %
Obra 3	Detallado de obra gris	181	134	-47	-25,97 %

Elaboración propia con información histórica proveniente de Sentinel correspondiente a los proyectos de estudio de caso.

Estas variaciones reflejan el impacto de dichas actividades en el cumplimiento de los cronogramas y resaltan su relevancia dentro del análisis, al ser determinantes en el desempeño general de los tiempos de ejecución.

4.3. Fase 2. Diseño del sistema de Business Intelligence

Objetivo: Diseñar la estructura analítica del sistema BI.

En esta fase se diseña la estructura analítica del sistema de Business Intelligence, mediante la organización de las bases de datos y la definición de indicadores de desempeño asociados al cumplimiento del cronograma, la productividad y la capacidad operativa de los contratistas.

Estos indicadores se formulan con base en las necesidades de toma de decisiones identificadas en las áreas de planeación, obra y gerencia, a partir de las entrevistas realizadas a los diferentes actores del proceso (residentes de obra, directores de obra, directores de construcción y coordinadores de negociación). Dichas entrevistas permitieron reconocer las principales problemáticas en el seguimiento de los proyectos, así como los requerimientos de información necesarios para la toma de decisiones oportuna, tales como el control del avance real frente a lo programado, la disponibilidad de recursos, la identificación de desviaciones y la coordinación entre contratistas.

De esta manera, se garantiza que el sistema BI propuesto no sólo consolide información, sino que responda a necesidades reales de gestión, facilitando el monitoreo continuo y la toma de decisiones estratégicas en los proyectos de construcción.

4.3.1 Recolección de Información y Fuentes de Datos

La información necesaria para este propósito se recolecta a partir de bases de datos internas de los proyectos seleccionados y de los reportes generados por el software de programación

utilizado en obra. De estas fuentes se extraen cronogramas, avances periódicos, actividades críticas, cargas de trabajo, duraciones reales, rendimientos y desviaciones frente a lo planificado. Esta información se complementa con documentación interna del proyecto, con el fin de asegurar la confiabilidad y consistencia de los datos utilizados en el sistema BI.

A partir de la información consolidada, se establecen indicadores que permiten apoyar la toma de decisiones relacionadas con la priorización de actividades, la reasignación de recursos, la evaluación del desempeño de los contratistas y la identificación temprana de riesgos en el cronograma. Entre los principales indicadores definidos se encuentran la productividad por actividad, el cumplimiento de hitos, la capacidad operativa real frente a la programada, la eficiencia en el uso de recursos y las desviaciones en tiempos y costos. Estos indicadores son validados con actores clave del proyecto, como residentes y directores de obra, coordinadores de adjudicaciones, planeadores y directores de construcción. Adicionalmente, se desarrollan entrevistas de tipo grupo focal en las que se indaga específicamente sobre las decisiones que tomarían a partir de los resultados de los tableros, con el fin de asegurar que las visualizaciones y métricas respondan efectivamente a las necesidades operativas y de seguimiento.

4.3.2 Análisis de Datos

Finalmente, el análisis de datos se desarrolla mediante un enfoque de analítica descriptiva, el cual permite comprender el comportamiento real de los proyectos, identificar patrones y detectar desviaciones. De manera complementaria, se incorpora analítica prescriptiva orientada a anticipar escenarios de riesgo y apoyar la toma de decisiones relacionadas con ajustes en la programación, asignación de recursos y gestión contractual.

4.3.3. Caracterización de la Base de Datos – Sistema Sentinel

La base de datos proveniente del sistema Sentinel corresponde a la información utilizada por la constructora para el seguimiento operativo de las actividades en obra, particularmente en lo relacionado con el control de avances, tiempos de ejecución y desempeño de contratistas. A diferencia de otras herramientas de planificación, esta base refleja principalmente el comportamiento real de la ejecución, ya que se alimenta de reportes periódicos generados en campo.

Estructura de la Base de Datos

La base de datos está compuesta principalmente por los siguientes tipos de variables:

a. Identificación de la actividad

- ID de actividad
- Nombre o descripción de la actividad
- WBS (estructura de desglose del trabajo)
- Fase o capítulo constructivo

b. Información de programación

- Fecha de inicio programada
- Fecha de fin programada
- Duración programada
- Ruta crítica (si aplica)

c. Información de ejecución

- Fecha de inicio real
- Fecha de fin real
- Duración real
- % de avance

d. Información de recursos

- Contratista responsable
- Cuadrilla o recurso asignado
- Cantidades de obra
- Rendimientos (cuando están disponibles)

e. Información de control

- Desviaciones en tiempo
- Holguras
- Actividades críticas
- Estado de la actividad

La estructura de la base se presenta en formato tabular, donde cada registro corresponde a una actividad constructiva y contiene información asociada a su programación, ejecución y control. Dentro de los campos más relevantes se encuentran las fechas programadas y reales, las duraciones, el porcentaje de avance, el contratista responsable y, en algunos casos, cantidades de obra y rendimientos. Esta información permite analizar directamente la relación entre lo planificado y lo ejecutado.

En el análisis de la base se identificaron situaciones propias del manejo real de la información en obra, como actividades con fecha de inicio real posterior a la programada, actividades finalizadas fuera del plazo previsto y registros con porcentajes de avance que no corresponden con su estado de ejecución. Asimismo, se evidenciaron diferencias en la forma en que se registran los nombres de actividades y contratistas, lo que requiere procesos de estandarización para su uso analítico.

A partir de esta información, Sentinel resulta especialmente útil para el análisis del desempeño operativo. Por ejemplo, permite identificar actividades que, teniendo duraciones

programadas cortas, presentan extensiones significativas en su ejecución, así como contratistas que concentran mayores niveles de incumplimiento o variabilidad en sus tiempos. También permite evidenciar periodos en los que un mismo contratista tiene múltiples actividades asignadas de forma simultánea, lo que puede afectar su capacidad operativa y el cumplimiento del cronograma.

No obstante, la base presenta algunas limitaciones relevantes. En varios casos no se cuenta con información completa de cantidades de obra o rendimientos, lo que restringe el análisis de productividad. Adicionalmente, la calidad de los datos depende en gran medida del registro realizado en obra, lo que genera inconsistencias en variables como el porcentaje de avance o las fechas reales.

Con el fin de establecer la relación entre la información contenida en la base de datos y los indicadores definidos para el sistema BI, se construyó una matriz de correspondencia que permite identificar el uso analítico de cada campo y su contribución en la generación de métricas para la toma de decisiones.

Tabla 4. Relación entre campos de la base Sentinel y su uso en el sistema BI.

Campo en la Base de Datos	Uso en BI	Indicador Asociado	Ejemplo Aplicado	Relevancia para el BI
ID de actividad	Identificación única	N/A	Permite rastrear una actividad específica	Media (solo técnico)
Nombre de actividad	Clasificación de actividades	Productividad por actividad	Mampostería presenta mayores duraciones	Alta
WBS / Fase	Agrupación por capítulos	Cumplimiento por fase	Acabados con mayor retraso	Alta
Fecha inicio programada	Base de planificación	Cumplimiento del cronograma	Inicio tardío de actividades	Alta
Fecha fin programada	Comparación con ejecución	Desviación en tiempo	Actividad termina después de lo previsto	Alta
Duración programada	Línea base	Índice de desempeño	5 días planeados vs. 9 reales	Alta
Fecha inicio real	Seguimiento real	Cumplimiento de inicio	Retrasos en arranque	Alta

Campo en la Base de Datos	Uso en BI	Indicador Asociado	Ejemplo Aplicado	Relevancia para el BI
Fecha fin real	Medición de cumplimiento	Cumplimiento de hitos	Hitos no cumplidos	Alta
Duración real	Análisis de eficiencia	Índice de eficiencia	Actividades más largas de lo previsto	Alta
% de avance	Seguimiento del progreso	Avance físico	Actividad al 50 % cuando debía estar finalizada	Alta
Actividad crítica	Impacto en el cronograma	Gestión de ruta crítica	Retraso afecta todo el proyecto	Alta
Holgura	Análisis de riesgo	Nivel de riesgo	Actividades sin holgura	Alta
Contratista	Evaluación de desempeño	Cumplimiento por contratista	Contratista con más retrasos	Alta
Cantidad de obra	Base productiva	Productividad	Más cantidad en menos tiempo	Media (si está completa)
Rendimiento	Medición de eficiencia	Productividad por recurso	Diferencias entre contratistas	Media (muchas veces incompleto)
Carga de trabajo	Evaluación operativa	Capacidad operativa	Sobrecarga genera retrasos	Alta
Estado de actividad	Control de ejecución	% de actividades terminadas	Muchas actividades en proceso	Media
Desviación (calculado)	Métrica clave	Variación en tiempo	Retrasos >20 %	Alta
Variación % (calculado)	Comparación	Índice de desempeño	Bajo desempeño	Alta
Usuario creador / editor	Sin uso analítico	N/A	Registro administrativo	Baja (No relevante)
Código interno adicional	Sin impacto analítico	N/A	Código redundante	Baja (No relevante)
Descripción extensa	Difícil de estandarizar	N/A	Texto inconsistente	Baja (No relevante)
Campos incompletos	No confiables	N/A	Actividades sin datos reales	Baja (Depurar)

Elaboración propia.

En este contexto, para su integración al sistema BI, se priorizan aquellos campos que aportan directamente al análisis del cumplimiento del cronograma, la productividad y la capacidad operativa, mientras que se excluyen registros administrativos, códigos internos y campos no estandarizados. Asimismo, se generan variables derivadas, como la desviación en días y la

variación porcentual frente a lo programado, las cuales no existen en la base original pero resultan fundamentales para la construcción de indicadores.

4.3.4. Caracterización de la Base de Datos – Primavera P6

La base de datos proveniente del sistema Primavera corresponde a la información generada a partir de la planificación y seguimiento detallado de las actividades de un proyecto de construcción. Esta herramienta permite estructurar el cronograma mediante una lógica de programación basada en relaciones entre actividades, lo que facilita el análisis del comportamiento del proyecto en términos de tiempo, secuencia y control.

La base se configura en formato tabular, donde cada registro representa una actividad del cronograma y contiene atributos relacionados con su identificación, programación, ejecución, relaciones de dependencia y estado. Esta estructura permite realizar análisis detallados del desempeño del proyecto y constituye una fuente clave para la construcción del sistema BI.

Estructura de la Base de Datos

La base de datos de Primavera presenta una estructura más robusta que otras herramientas, incluyendo los siguientes grupos de variables:

a. Identificación de actividades

- ID de actividad
- Nombre de actividad
- WBS (estructura del proyecto)

b. Información de programación

- Fecha inicio programada
- Fecha fin programada
- Duración planificada
- Tipo de actividad

c. Información de ejecución

- Fecha inicio real
- Fecha fin real
- % de avance
- Duración real

d. Relaciones entre actividades (clave en Primavera)

- Predecesoras
- Sucesoras
- Tipo de relación (FS, SS, FF, etc.)

e. Información de control

- Ruta crítica
- Holgura total
- Restricciones
- Estado de la actividad

f. Recursos (si están cargados)

- Contratista o responsable
- Recursos asignados
- Unidades de trabajo

La base de datos proveniente del sistema Primavera corresponde a la herramienta utilizada por la constructora para la planificación y control del cronograma del proyecto. A diferencia de Sentinel, esta base no se enfoca en el seguimiento operativo, sino en la estructuración lógica de las actividades, sus relaciones de dependencia y la programación del proyecto en el tiempo.

La información se organiza también en formato tabular, donde cada registro representa una actividad; sin embargo, incorpora elementos adicionales que no están presentes en Sentinel, como las relaciones entre actividades (predecesoras y sucesoras), los tipos de vínculo (FS, SS, entre

otros), las holguras y la identificación de la ruta crítica. Estos elementos permiten modelar la secuencia constructiva y entender cómo se comporta el cronograma de manera integral.

Durante la revisión de la base, se identificó que, aunque Primavera contiene información detallada de la programación, la calidad de los datos depende de la actualización periódica del cronograma. En algunos casos, se evidencian actividades sin fechas reales o con porcentajes de avance desactualizados, lo que limita el análisis de la ejecución si no se complementa con otras fuentes.

El principal valor de esta base radica en la posibilidad de analizar el impacto de las desviaciones en cadena. Por ejemplo, cuando una actividad predecesora presenta retrasos, es posible identificar cómo esto afecta el inicio de las actividades sucesoras, especialmente aquellas que hacen parte de la ruta crítica. Asimismo, la información de holguras permite identificar qué actividades tienen menor margen de maniobra y representan mayor riesgo para el cumplimiento del proyecto.

En términos de capacidad operativa, cuando la base incluye asignación de recursos, es posible analizar la distribución de actividades en el tiempo y detectar posibles concentraciones de carga; sin embargo, esta información no siempre se encuentra completamente diligenciada, lo que limita su uso en algunos casos.

Para su integración al sistema BI, Primavera aporta principalmente la estructura del cronograma y la lógica de relaciones entre actividades, permitiendo construir indicadores asociados al cumplimiento, la gestión de la ruta crítica y la identificación de riesgos en la programación. Al igual que en Sentinel, se requiere la generación de variables derivadas, como desviaciones en tiempo, que permitan comparar la planificación con la ejecución.

En conclusión, la base de datos de Primavera constituye el soporte estructural del análisis del cronograma dentro del sistema BI, ya que permite entender la lógica constructiva del proyecto y anticipar el impacto de los retrasos, complementando así la información operativa proveniente de Sentinel.

Tabla 5. Relación entre campos de la base Primavera P6 y su uso en el sistema BI

Campo en Primavera	Uso en BI	Indicador Asociado	Ejemplo Aplicado	Relevancia para el BI
Activity ID	Identificación única	N/A	Permite rastrear cada actividad	Media (técnico)
Activity Name	Clasificación de actividades	Productividad por actividad	"Estructura", "Mampostería" con mayor duración	Alta
WBS	Agrupación por fases	Cumplimiento por fase	Capítulo de acabados con retrasos	Alta
Start (Planned)	Base de programación	Cumplimiento de inicio	Actividad inicia después de lo planificado	Alta
Finish (Planned)	Línea base	Desviación en tiempo	Finalización posterior a lo programado	Alta
Start (Actual)	Seguimiento de ejecución	Cumplimiento real	Inicio tardío de actividades	Alta
Finish (Actual)	Medición de cumplimiento	Cumplimiento de hitos	Hitos incumplidos	Alta
Original Duration	Planeación inicial	Índice de desempeño	5 días planeados vs. 10 reales	Alta
Actual Duration	Ejecución real	Eficiencia	Actividad toma más tiempo del previsto	Alta
Remaining Duration	Control de avance	Proyección de cumplimiento	Actividades aún pendientes	Media
% Complete	Seguimiento de avance	Avance físico	Actividad en 40 % vs. 100 % esperado	Alta
Activity Status	Estado de ejecución	% de actividades terminadas	Muchas actividades "en progreso"	Media
Total Float	Holgura	Nivel de riesgo	Actividades con 0 días de holgura	Alta
Critical (Yes/No)	Ruta crítica	Gestión de riesgo	Actividades críticas retrasadas	Alta
Assigned Resources	Recursos asignados	Capacidad operativa	Sobrecarga de recursos	Alta
Resource Name	Análisis por recurso	Productividad por recurso	Diferencias entre cuadrillas	Alta

Campo en Primavera	Uso en BI	Indicador Asociado	Ejemplo Aplicado	Relevancia para el BI
Resource Units	Cantidad de recurso	Eficiencia	Mayor recurso no siempre = mejor rendimiento	Media
Activity Type	Clasificación	Análisis por tipo	Constructivas vs. administrativas	Media
Calendar	Días laborales	Ajuste de tiempos	Diferencias por calendario laboral	Baja
Constraints	Restricciones	Análisis de riesgos	Restricciones afectan fechas	Media
Creation Date	Registro administrativo	N/A	Fecha de creación	Baja (No relevante)
Created By	Administrativo	N/A	Usuario creador	Baja (No relevante)
Notebook / Comments	Texto libre	N/A	Información no estructurada	Baja (No relevante)
Codes adicionales	Clasificación secundaria	Segmentación	No siempre estandarizados	Media
Campos vacíos	Sin información	N/A	Actividades sin datos reales	Baja (Depurar)

Elaboración propia.

A diferencia de otras fuentes de datos, la base proveniente de Primavera presenta una mayor estructuración en términos de programación, incluyendo variables como holguras, ruta crítica y duraciones remanentes, lo que permite un análisis más robusto del comportamiento del cronograma. Sin embargo, al igual que en otras bases, requiere procesos de depuración para eliminar campos administrativos y datos no estructurados que no aportan valor analítico.

4.3.5. Análisis Comparativo de Bases de Datos: Sentinel vs Primavera

Desde el punto de vista del diseño del sistema de Business Intelligence, las bases de datos provenientes de Sentinel y Primavera presentan diferencias significativas tanto en su estructura como en la calidad y utilidad de la información para la toma de decisiones. Mientras Sentinel se caracteriza por una orientación más operativa, con un mayor énfasis en la ejecución y seguimiento en obra, Primavera ofrece una estructura más robusta en términos de programación, incluyendo

variables como ruta crítica, holguras y duraciones remanentes. No obstante, esta diferencia estructural no implica necesariamente una mayor utilidad analítica en todos los casos.

En particular, uno de los aspectos más críticos identificados en el análisis es la asignación de contratistas y recursos. En la base de datos de Sentinel, la información de contratistas suele estar directamente asociada a cada actividad, lo que permite realizar análisis claros de desempeño, cumplimiento y capacidad operativa. Por el contrario, en Primavera, aunque existe la posibilidad de asignar recursos, esta información no siempre se encuentra completamente diligenciada o estructurada de manera consistente. En muchos casos, las actividades no tienen recursos asignados o presentan asignaciones genéricas, lo que limita significativamente la posibilidad de evaluar el desempeño por contratista o de analizar la carga de trabajo real.

Esta situación tiene un impacto directo en el desarrollo del sistema BI, ya que dificulta la construcción de indicadores relacionados con productividad y capacidad operativa cuando se utiliza únicamente la base de Primavera. Por ejemplo, mientras en Sentinel es posible identificar qué contratista ejecuta cada actividad y medir su cumplimiento frente al cronograma, en Primavera esta trazabilidad se pierde o se vuelve parcial, obligando a realizar procesos adicionales de integración o enriquecimiento de datos.

Adicionalmente, se identifican diferencias en la calidad y consistencia de los datos. Sentinel, al estar más vinculado a la operación diaria de la obra, presenta información más actualizada en términos de avances y ejecución real, aunque con ciertas inconsistencias propias del registro manual. Por su parte, Primavera ofrece una mayor rigurosidad en la estructura de la programación, pero no siempre refleja con precisión el estado real de ejecución si no se actualiza de manera sistemática.

En términos de aplicabilidad para el BI, el cambio en la herramienta de gestión pasando del uso de Sentinel a la implementación exclusiva de Primavera, implica un reto en la continuidad y calidad del análisis, especialmente en lo relacionado con el desempeño operativo. Si bien Primavera aporta una estructura más robusta para la planificación, el control del cronograma y la gestión de riesgos, presenta limitaciones en la información asociada a la ejecución, particularmente en la asignación de contratistas y el registro de variables operativas. En este sentido, se identifica la necesidad de incorporar en la estructura de Primavera ciertos datos que previamente se gestionaban en Sentinel, tales como la asignación directa de contratistas por actividad y el registro de las causas de no cumplimiento. La inclusión de estos campos permitiría fortalecer el análisis del desempeño, facilitar la trazabilidad de las desviaciones y mejorar la toma de decisiones, integrando en una sola herramienta tanto la rigurosidad técnica de la programación como la información operativa necesaria para la gestión de obra.

Desde la perspectiva de Business Intelligence, la calidad del análisis depende no solo de la disponibilidad de la información, sino también de la estructura, consistencia e integración de las fuentes de datos, ya que estos aspectos determinan la confiabilidad de los indicadores y el soporte para la toma de decisiones (Sharda, Delen, & Turban, 2014). En este contexto, la Tabla 6 presenta una comparación entre las bases de datos de Sentinel y Primavera P6, destacando las principales diferencias identificadas en cuanto a estructura, contenido y utilidad para el desarrollo del sistema BI propuesto.

Tabla 6. Comparación entre Sentinel y Primavera P6 desde el enfoque del sistema BI.

Criterio	Sentinel	Primavera P6	Impacto en BI
Enfoque de la base	Operativo (obra)	Programación (planeación)	Complementarios
Estructura de datos	Más simple	Más robusta y técnica	Primavera facilita modelado
Asignación de contratistas	Completa y directa	Incompleta o inconsistente	Sentinel permite análisis de desempeño
Asignación de recursos	Básica	Avanzada (pero poco usada)	Limitado si no se diligencia
Ruta crítica	Limitada	Completa	Primavera clave para riesgos
Holguras (float)	No siempre disponible	Disponible	Mejora análisis de riesgo
Duraciones (plan vs. real)	Disponible	Disponible	Ambos útiles
Avance de actividades	Más actualizado	Depende de la actualización	Sentinel más confiable en ejecución
Consistencia de datos	Media	Alta en estructura, baja en ejecución	Ambos requieren depuración
Análisis de contratistas	Directo	Limitado	Ventaja clara de Sentinel
Capacidad operativa	Analizable	Difícil de construir	Falta de recursos en Primavera
Productividad	Posible	Limitada	Depende de datos adicionales
Calidad para BI	Alta (operativa)	Alta (programación)	Complementarias
Nivel de depuración requerido	Medio	Medio – Alto	Ambos requieren transformación

Elaboración propia.

El modelo propuesto no se limita a la estructura original de Primavera, sino que incorpora variables clave provenientes de la lógica operativa previamente gestionada en Sentinel, como la asignación de contratistas y las causas de no cumplimiento. Esta integración conceptual permite superar las limitaciones de la base actual, transformando un modelo orientado únicamente a la programación en una herramienta analítica que soporta la evaluación del desempeño, la productividad y la toma de decisiones en obra.

4.3.6. Caracterización de la Base de Datos – Sistema Biométrico

La base de datos biométrica corresponde a los registros diarios de ingreso de personal a obra, utilizados para validar la presencia real de trabajadores en cada proyecto. Esta información permitió contrastar las cuadrillas programadas frente al personal efectivamente presente en obra, facilitando la construcción de indicadores asociados a cobertura operativa y capacidad real de ejecución de los contratistas.

La información biométrica incluye variables relacionadas con:

- a. Fecha de ingreso
- b. Contratista asociado
- c. Proyecto

Para garantizar la trazabilidad y consistencia de la información, se realizó un proceso de homologación y depuración de nombres de contratistas entre las bases provenientes de Sentinel y biometría, permitiendo estructurar relaciones consistentes para el análisis comparativo.

4.3.7. Entrevistas

Enfoque metodológico del análisis

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo descriptivo, orientado a comprender las problemáticas asociadas a la gestión de contratistas y su impacto en el control del cronograma en proyectos de construcción de vivienda.

Para la recolección de información, se diseñó y aplicó un instrumento mediante Formularios de Google, utilizando formatos estructurados elaborados específicamente para esta investigación. El instrumento incluyó principalmente preguntas abiertas, con el propósito de no

limitar la percepción ni las respuestas de los participantes, permitiendo capturar información amplia, contextualizada y basada en la experiencia directa de los profesionales del sector.

La encuesta fue dirigida a actores clave del proceso constructivo, incluyendo directores de obra, residentes de obra, directores de construcción y coordinadores de negociación. La selección de la muestra se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando perfiles con experiencia directa en la gestión de proyectos de construcción.

Posteriormente, se llevó a cabo un proceso de análisis integral de la información recolectada, combinando la interpretación cualitativa de las respuestas con la identificación de patrones recurrentes, lo cual permitió estructurar los principales hallazgos en torno a la gestión operativa, el uso de herramientas y la toma de decisiones en obra.

4.3.7.1. Resultados cualitativos

Carga operativa y complejidad en la gestión de proyectos

Los resultados evidencian que la gestión de proyectos dentro de la organización se desarrolla en un contexto de alta carga operativa, en el cual los profesionales suelen administrar múltiples frentes de obra de manera simultánea. Esta condición incrementa la complejidad del seguimiento, limitando la capacidad de control continuo sobre el desempeño de los contratistas y afectando la toma de decisiones oportunas en campo.

Este hallazgo se refuerza con afirmaciones de los participantes, tales como:

“El tiempo no alcanza para hacer seguimiento detallado a todos los frentes de obra.”

“Se prioriza lo urgente sobre lo importante, lo que afecta el control real del proyecto.”

Fragmentación de la información y uso de herramientas

En relación con las herramientas utilizadas, se identificó una dependencia generalizada de plataformas de programación como Primavera, complementadas con hojas de cálculo y reportes manuales. Sin embargo, estas herramientas operan de manera desarticulada, lo que obliga a los usuarios a realizar procesos adicionales de consolidación de información.

Esta fragmentación genera reprocesos, pérdida de eficiencia y riesgo de errores en la gestión de datos, como se evidencia en las siguientes respuestas:

“Toca llevar la información en Excel aparte porque no todo queda en Primavera.”

“Se pierde tiempo consolidando datos de diferentes fuentes.”

Falta de estandarización en la gestión de proyectos

Uno de los hallazgos más relevantes corresponde a la ausencia de un sistema estandarizado a nivel organizacional que permita centralizar y homologar la información de los proyectos.

Las respuestas evidencian que cada obra implementa sus propios mecanismos de seguimiento, lo que impide contar con una trazabilidad unificada del desempeño de los contratistas y dificulta la comparación entre proyectos.

Esta problemática se expresa en comentarios como:

“Cada obra trabaja diferente, no hay una forma única de medir avance.”

“No existe un histórico confiable del desempeño de los contratistas.”

Problemáticas en la gestión de contratistas

En cuanto a la gestión de contratistas, se identifican problemáticas recurrentes relacionadas con incumplimientos en la ejecución de actividades, así como diferencias entre los rendimientos planificados y los realmente ejecutados.

Adicionalmente, se evidencia baja confiabilidad y oportunidad en la información reportada, lo que dificulta la toma de decisiones basada en datos reales.

Estas situaciones se reflejan en percepciones como:

“La información llega tarde o incompleta.”

“No hay visibilidad en tiempo real del avance de obra.”

Necesidades de información para la toma de decisiones

Desde una perspectiva estratégica, particularmente en roles de dirección y coordinación, se evidencia la necesidad de contar con información consolidada que permita evaluar el desempeño histórico de los contratistas, optimizar los procesos de selección y establecer criterios objetivos de contratación.

Sin embargo, la falta de integración de la información entre proyectos limita actualmente la posibilidad de realizar este tipo de análisis de manera sistemática y confiable.

4.3.7.2. Discusión de resultados

Los hallazgos obtenidos en la presente investigación evidencian una problemática estructural en la gestión de la información dentro de los proyectos de construcción, caracterizada por la fragmentación de datos, la ausencia de estandarización y la limitada disponibilidad de información oportuna para la toma de decisiones.

De acuerdo con el Project Management Institute (PMI, 2021), el proceso de seguimiento y control del cronograma requiere información confiable, oportuna y centralizada que permita identificar desviaciones y tomar acciones correctivas de manera efectiva. En este sentido, los resultados obtenidos evidencian una brecha significativa entre las buenas prácticas establecidas en la literatura y la realidad operativa de los proyectos analizados.

Asimismo, diversos estudios en el campo de la analítica de datos y la inteligencia de negocios destacan que la integración de fuentes de información y la visualización de indicadores en tiempo real constituyen elementos clave para mejorar la eficiencia organizacional y la toma de decisiones basada en datos (Power, 2007; Sharda et al., 2018).

En concordancia con lo anterior, las dificultades identificadas en la consolidación de información y el seguimiento del desempeño de los contratistas evidencian la necesidad de implementar herramientas tecnológicas que permitan transformar los datos operativos en información estratégica.

4.3.7.3. Validación de la hipótesis

La hipótesis planteada en la presente investigación establece que la implementación de un sistema de Business Intelligence (BI) permite mejorar la gestión de contratistas y el control del cronograma en proyectos de construcción de vivienda.

A partir de los resultados obtenidos, se valida dicha hipótesis, dado que la evidencia recopilada demuestra que la ausencia de una herramienta estandarizada, centralizada y accesible limita significativamente la capacidad de los usuarios para realizar un seguimiento efectivo de los contratistas y tomar decisiones oportunas en obra.

Los hallazgos evidencian que las principales problemáticas identificadas —como la fragmentación de la información, la falta de estandarización y la baja visibilidad en tiempo real— pueden ser abordadas mediante la implementación de un sistema BI que integre múltiples fuentes de datos y facilite la visualización de indicadores clave.

4.3.7.4. Implicaciones para el diseño del sistema BI

A partir de los hallazgos identificados, se establecen los principales requerimientos funcionales para el diseño del sistema BI propuesto en la presente investigación.

En primer lugar, se identifica la necesidad de centralizar la información proveniente de diferentes fuentes, permitiendo su integración en una única plataforma. En segundo lugar, se requiere la visualización de indicadores clave de desempeño en tiempo real, orientados al seguimiento del avance de obra y la gestión de contratistas.

Adicionalmente, el sistema debe permitir la generación de alertas tempranas frente a desviaciones del cronograma, así como la consolidación de información histórica que facilite la evaluación del desempeño de los contratistas en diferentes proyectos.

Estas necesidades se reflejan en afirmaciones de los participantes como:

“Un tablero ayudaría a ver todo en un solo lugar.”

“Sería clave tener indicadores en tiempo real para tomar decisiones.”

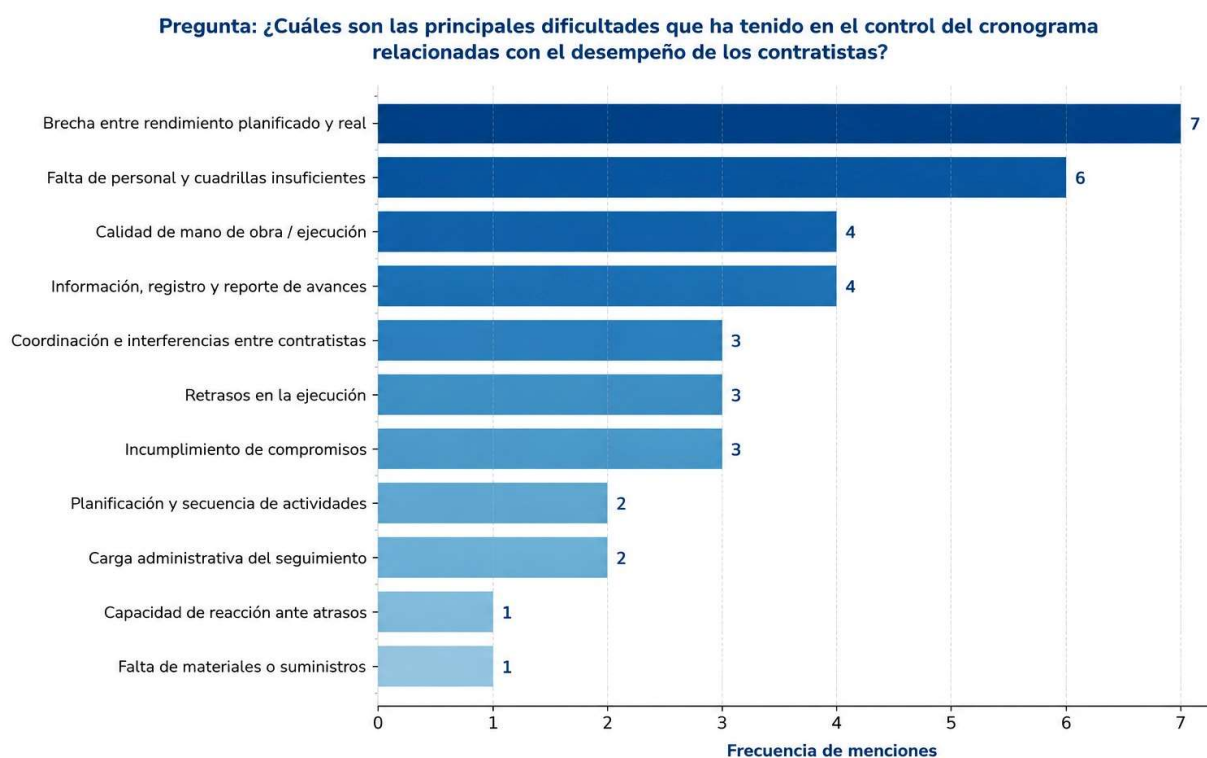
En consecuencia, la implementación de un sistema BI no solo responde a una necesidad operativa, sino que se configura como una oportunidad estratégica para fortalecer la gestión organizacional, mejorar la eficiencia en obra y generar valor a partir del análisis de datos.

Como se observa en la Figura 1, la principal dificultad identificada corresponde a la brecha entre el rendimiento planificado y el rendimiento real de los contratistas, con 7 menciones, equivalente al 44% de las respuestas analizadas. Este resultado evidencia que una de las mayores problemáticas en el control del cronograma se relaciona con la diferencia entre los tiempos y rendimientos previstos en la programación y las condiciones reales de ejecución en obra.

En segundo lugar, se encuentra la falta de personal y cuadrillas insuficientes, con 6 menciones, lo que representa el 38% de las respuestas. Este hallazgo indica que la disponibilidad de mano de obra, la rotación del personal y la falta de personal calificado afectan directamente la continuidad de las actividades y generan impactos sobre el cumplimiento del cronograma.

Asimismo, se identifican dificultades asociadas a la calidad de la mano de obra, el registro y reporte de avances, la coordinación entre contratistas y los retrasos en la ejecución. En conjunto, estos resultados evidencian que el desempeño de los contratistas no solo depende de su capacidad operativa, sino también de la calidad de la información disponible, la coordinación entre frentes de trabajo y la capacidad de reacción frente a desviaciones.

Figura 1: Principales dificultades en el control del cronograma relacionadas con el desempeño de los contratistas.



Nota. Codificación multietiqueta de 16 respuestas abiertas; una respuesta puede asociarse a más de una categoría. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 2, la información considerada más relevante para la gestión de contratistas en el día a día se concentra principalmente en variables relacionadas con la disponibilidad de mano de obra y la capacidad operativa de los contratistas, así como en su rendimiento, ambas con la mayor frecuencia de menciones.

Este resultado evidencia que la capacidad real de ejecución de los contratistas, en términos de personal disponible, conformación de cuadrillas y productividad, constituye un factor determinante para el seguimiento efectivo del proyecto y el cumplimiento del cronograma.

En segundo nivel, se destaca la importancia de contar con información oportuna, lo cual refleja la necesidad de disponer de datos actualizados que permitan tomar decisiones en tiempo real y anticipar posibles desviaciones.

Adicionalmente, categorías como la coordinación entre contratistas y el cumplimiento de actividades evidencian la relevancia de la articulación entre diferentes frentes de trabajo y el seguimiento a los compromisos adquiridos durante la ejecución del proyecto.

Finalmente, aunque con menor frecuencia, aspectos como la calidad de la ejecución, el avance de obra y la planificación también son considerados relevantes, lo que sugiere que la gestión integral del proyecto requiere no solo control operativo, sino también una visión estratégica que integre múltiples variables.

En conjunto, estos hallazgos refuerzan la necesidad de implementar sistemas de información que permitan centralizar, integrar y visualizar estos datos de manera estructurada, facilitando la toma de decisiones basada en información confiable y oportuna.

Figura 2: Principales dificultades en el control del cronograma relacionadas con el desempeño de los contratistas.



Nota. Codificación multietiqueta de respuestas abiertas, una respuesta puede asociarse a más de una categoría. Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 3, las principales problemáticas en la gestión de la información relacionada con los contratistas se concentran en la disponibilidad incompleta de datos, seguida de la falta de estandarización y las dificultades asociadas a la capacidad operativa y la oportunidad de la información.

La información incompleta se posiciona como la principal limitante, lo que evidencia que los datos necesarios para la toma de decisiones no se encuentran disponibles de manera integral, afectando la capacidad de evaluar adecuadamente a los contratistas.

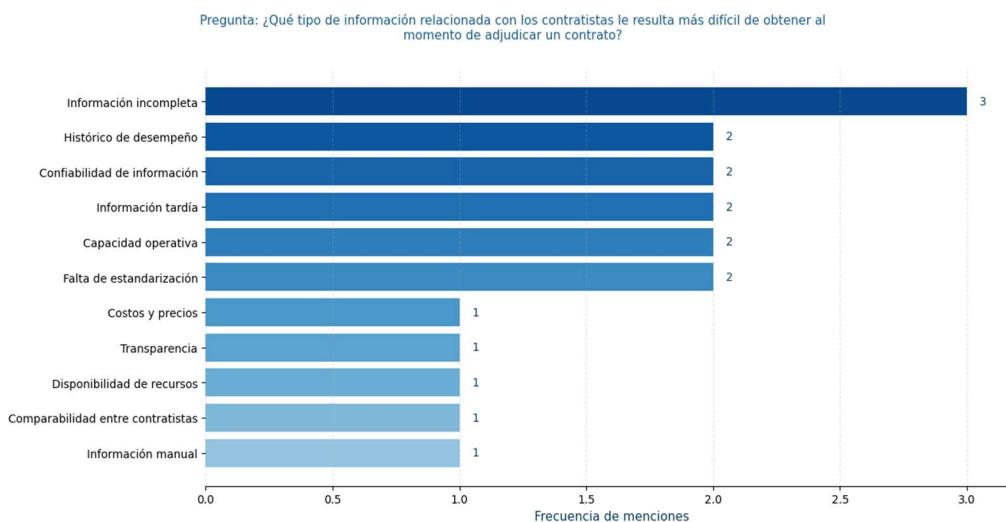
En segundo nivel, la falta de estandarización indica que la información se gestiona de manera heterogénea entre proyectos, dificultando su consolidación, comparación y análisis. Esta situación limita la posibilidad de generar trazabilidad histórica y realizar evaluaciones consistentes del desempeño de los contratistas.

Asimismo, se identifican problemáticas relacionadas con la información tardía y la baja confiabilidad de los datos, lo cual impacta directamente la toma de decisiones oportunas y reduce la capacidad de anticipar desviaciones en el proyecto.

Adicionalmente, factores como la ausencia de históricos de desempeño, la necesidad de manejar información de forma manual y la baja comparabilidad entre contratistas evidencian un entorno de gestión fragmentado, donde la información no fluye de manera estructurada ni integrada.

En conjunto, estos resultados ponen en evidencia una brecha significativa en la gestión de la información, la cual limita el control efectivo de los contratistas y refuerza la necesidad de implementar herramientas tecnológicas que permitan centralizar, estandarizar y visualizar los datos en tiempo real, como es el caso de los sistemas de Business Intelligence (BI).

Figura 3: Principales problemáticas en la disponibilidad y calidad de la información para la gestión de contratistas



Nota. Codificación multietiqueta de respuestas abiertas, una respuesta puede asociarse a más de una categoría. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 4, los principales beneficios esperados de la implementación de un sistema de Business Intelligence (BI) se concentran en el fortalecimiento del seguimiento y control del desempeño de los contratistas y el soporte a la toma de decisiones, ambas con la mayor frecuencia de menciones.

Este resultado evidencia que los usuarios perciben el BI como una herramienta estratégica para mejorar la capacidad de monitorear el avance de los contratistas y tomar decisiones oportunas frente a desviaciones en el cronograma.

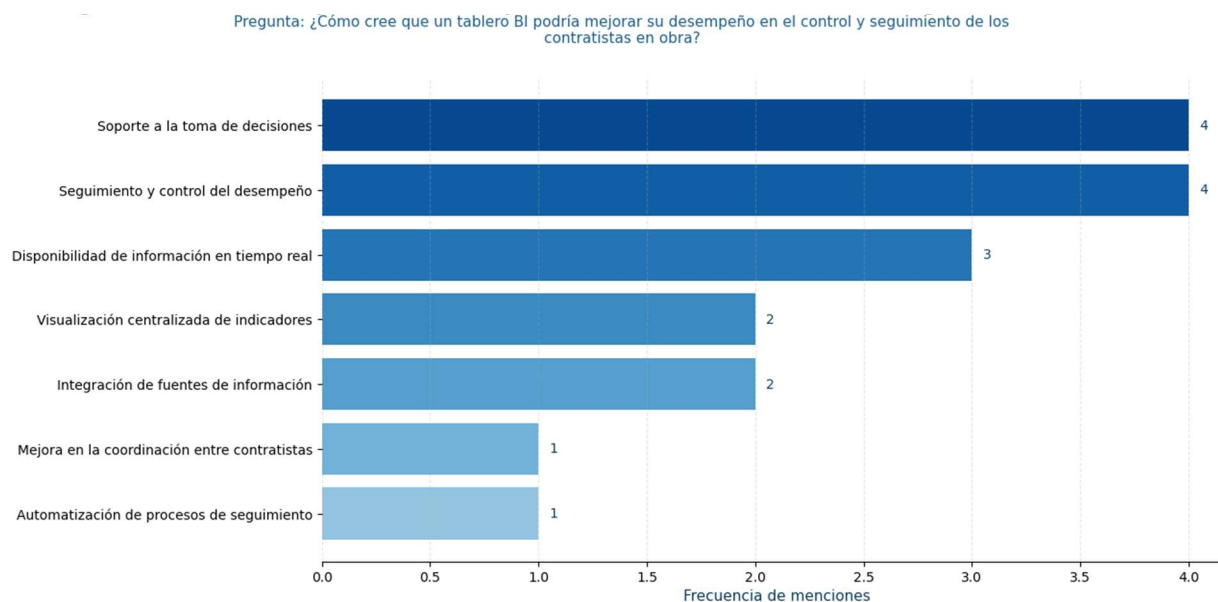
En segundo nivel, se destaca la necesidad de contar con información en tiempo real, lo cual refleja la importancia de disponer de datos actualizados que permitan anticipar problemas y reducir la dependencia de reportes manuales o tardíos.

Asimismo, la integración de fuentes de información y la visualización centralizada de indicadores evidencian la necesidad de consolidar múltiples sistemas y datos en una única plataforma, facilitando su análisis y reduciendo la fragmentación actual en la gestión de proyectos.

Finalmente, aspectos como la automatización de procesos de seguimiento y la mejora en la coordinación entre contratistas refuerzan la idea de que el BI no solo impacta el control operativo, sino también la eficiencia y articulación organizacional.

En conjunto, estos resultados confirman que la implementación de un sistema BI responde directamente a las problemáticas identificadas en la gestión de la información y el seguimiento de los contratistas, consolidándose como una solución integral para mejorar el control del cronograma y la toma de decisiones basada en datos.

Figura 4: Beneficios esperados de la implementación de un sistema BI en la gestión de contratistas



Nota. Codificación multietiqueta de respuestas abiertas, una respuesta puede asociarse a más de una categoría. Fuente: Elaboración propia.

4.3.7.5. Definición de indicadores (KPIs)

A partir del análisis de las entrevistas realizadas, se identificó que los participantes requieren información estructurada que permita evaluar el desempeño de los contratistas desde una perspectiva integral. En este sentido, los resultados evidencian la necesidad de contar con indicadores que no solo aborden el cumplimiento del cronograma, sino también variables asociadas al rendimiento, la disponibilidad de mano de obra y capacidad operativa, la calidad de la ejecución y la oportunidad de la información.

Adicionalmente, se destacan aspectos relacionados con la coordinación entre contratistas y la capacidad de respuesta ante desviaciones, los cuales resultan determinantes para garantizar la continuidad de las actividades y minimizar impactos en el desarrollo del proyecto.

Con base en estos hallazgos, se propone un conjunto de indicadores clave de desempeño (KPIs) orientados a medir de manera integral la gestión de contratistas, los cuales constituyen la

base para el diseño del sistema de Business Intelligence (BI) planteado en la presente investigación.

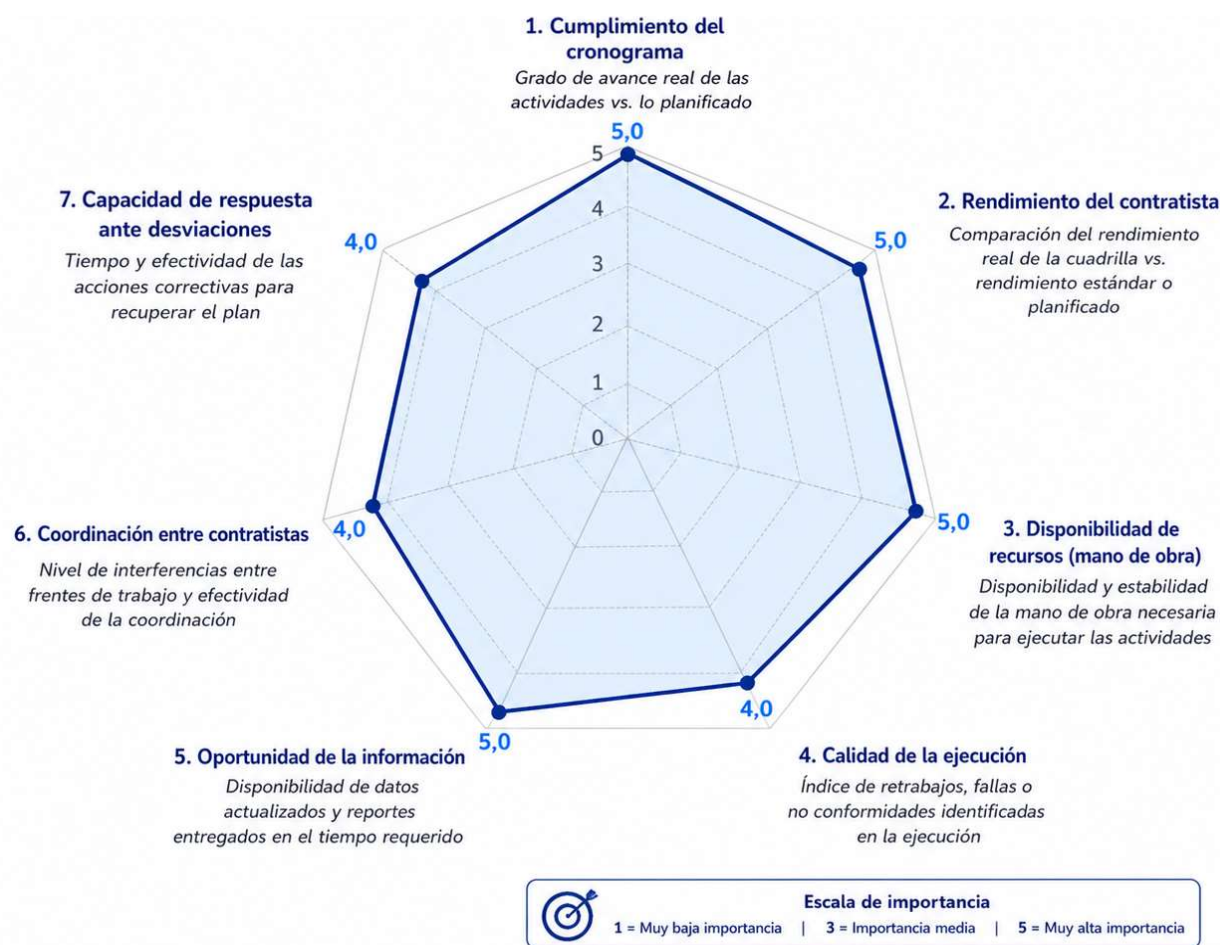
En este sentido, los KPIs propuestos se estructuran de la siguiente manera:

KPIs Operativos Propuestos

Con el fin de representar de manera integral la relevancia de las dimensiones asociadas a los indicadores propuestos, se presenta la Figura 5, en la cual se visualizan los principales componentes para la evaluación del desempeño de los contratistas desde una perspectiva sistémica.

Las dimensiones con mayor nivel de importancia corresponden al cumplimiento del cronograma, el rendimiento del contratista y la disponibilidad de mano de obra, lo cual evidencia que el control operativo es el eje central de la gestión. No obstante, variables como la calidad, la coordinación y la capacidad de respuesta también juegan un papel fundamental en la estabilidad del proyecto.

Figura 5: Dimensiones clave (KPIs) para la gestión de contratistas



4.3.7.6. Síntesis de resultados

El análisis desarrollado a partir de las encuestas y entrevistas permitió identificar de manera integral las principales problemáticas asociadas a la gestión de contratistas y su impacto en el control del cronograma en proyectos de construcción de vivienda.

En primer lugar, se evidenció que las dificultades en obra se concentran en factores operativos críticos, tales como la brecha entre los rendimientos planificados y los reales, la disponibilidad de mano de obra y la capacidad operativa de los contratistas, así como las limitaciones en la coordinación entre diferentes frentes de trabajo. Estas condiciones afectan

directamente la continuidad de las actividades y reducen la capacidad de cumplimiento del cronograma.

En segundo lugar, los resultados permitieron establecer que la gestión efectiva de los contratistas depende de la disponibilidad de información clave relacionada con el rendimiento, la capacidad operativa, la calidad de la ejecución y la oportunidad en el reporte de datos. No obstante, se identificó una brecha significativa entre la información requerida y la información realmente disponible en los proyectos.

En este sentido, se evidenciaron problemáticas estructurales en la gestión de la información, tales como la disponibilidad incompleta de datos, la falta de estandarización, la baja confiabilidad de la información y la dependencia de procesos manuales. Esta situación genera un entorno de gestión fragmentado, que limita la consolidación de información, dificulta su análisis y restringe la toma de decisiones oportuna en obra.

A partir de estos hallazgos, y con base en las necesidades identificadas por los participantes, se definieron las principales dimensiones para la evaluación del desempeño de los contratistas, las cuales incluyen el cumplimiento del cronograma, el rendimiento, la disponibilidad de mano de obra, la calidad de la ejecución, la oportunidad de la información, la coordinación entre contratistas y la capacidad de respuesta ante desviaciones. Estas dimensiones, representadas en la Figura 5, constituyen el marco conceptual para la definición de los indicadores clave de desempeño (KPIs).

En consecuencia, se propuso un conjunto de KPIs orientados a medir de manera integral la gestión de contratistas, incluyendo indicadores de cumplimiento, rendimiento, calidad, disponibilidad de recursos, oportunidad de la información, coordinación y respuesta ante

desviaciones. Estos indicadores permiten traducir las necesidades operativas identificadas en métricas cuantificables, facilitando su seguimiento y control.

Asimismo, los resultados evidencian que la implementación de un sistema de Business Intelligence (BI) se configura como una solución estratégica para abordar las problemáticas identificadas. Los participantes destacan que este tipo de herramienta permitiría fortalecer el seguimiento y control del desempeño, mejorar la toma de decisiones, disponer de información en tiempo real e integrar múltiples fuentes de datos en una única plataforma.

De esta manera, se valida la hipótesis de investigación, al demostrar que la ausencia de herramientas que integren, estructuren y visualicen la información limita significativamente la gestión de contratistas y el control del cronograma. En contraste, la implementación de un sistema BI responde de manera directa a estas limitaciones, consolidándose como un habilitador para mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones basada en datos.

Finalmente, los resultados obtenidos en este capítulo constituyen la base para el desarrollo de la propuesta del sistema BI, la cual se abordará en el siguiente capítulo, donde se definirán los requerimientos funcionales, la arquitectura de la solución y el diseño del tablero de control orientado a la gestión de contratistas.

4.4. Fase 3. Integración y validación de datos

Objetivo: Integrar, depurar y validar la información proveniente de las diferentes fuentes de datos utilizadas en la investigación, con el fin de estructurar una base analítica confiable para el desarrollo del modelo de Business Intelligence en Power BI.

En esta fase se desarrolló el proceso de integración, transformación y validación de la información histórica utilizada para la construcción del sistema de Business Intelligence (BI). El propósito principal consistió en consolidar información proveniente de diferentes fuentes

operativas y programáticas en una estructura analítica homogénea que permitiera realizar análisis comparativos del desempeño de contratistas, el comportamiento del cronograma y la capacidad operativa de ejecución en proyectos de vivienda.

La integración de la información se realizó a partir de tres fuentes principales: la base histórica proveniente del sistema Sentinel, la información de programación exportada desde Oracle Primavera P6 y los registros biométricos de ingreso de personal a obra. Cada una de estas fuentes posee estructuras y finalidades diferentes dentro de la organización, razón por la cual fue necesario desarrollar procesos de homologación, depuración y normalización de datos antes de su integración en Power BI.

La información proveniente de Sentinel fue utilizada como fuente principal para el análisis histórico y operativo, debido a que contiene registros asociados a actividades ejecutadas, contratistas, estados de avance, incidencias, fechas de ejecución y comportamiento general del cronograma en proyectos finalizados. Por su parte, la información proveniente de Primavera P6 fue utilizada como referencia estructural para la programación y organización jerárquica de las actividades mediante la estructura WBS (Work Breakdown Structure), incorporando variables relacionadas con fechas programadas, duración de actividades, avance del cronograma y estado de ejecución de los proyectos actualmente administrados por la organización.

Adicionalmente, se incorporó información proveniente de registros biométricos de ingreso de personal a obra para tres proyectos seleccionados en fase de cierre, con el propósito de profundizar el análisis relacionado con la capacidad operativa real de los contratistas. Esta integración permitió contrastar las cuadrillas programadas frente al personal que efectivamente ingresó a obra durante la ejecución de las actividades, facilitando el análisis de cobertura operativa, brechas de personal y disponibilidad efectiva de recursos humanos.

Debido a que las diferentes fuentes fueron construidas con finalidades operativas distintas, no existía una llave primaria única y completamente estandarizada que permitiera relacionar directamente todos los registros entre Sentinel, Primavera P6 y biométrico. En consecuencia, no se realizó una integración transaccional uno a uno entre las bases de datos. En su lugar, se desarrolló un proceso de homologación analítica orientado a reducir la fragmentación de la información y construir dimensiones comunes para el análisis dentro del modelo BI.

Posteriormente, se desarrolló un proceso de depuración y estandarización de la información, con el propósito de corregir inconsistencias, eliminar registros duplicados, homologar nombres de contratistas, unificar criterios de actividades y garantizar la coherencia entre los datos de programación, ejecución y control operativo. Este proceso fue necesario debido a las diferencias en los criterios históricos de captura y seguimiento de información entre proyectos y plataformas.

Como parte del proceso de validación, se realizaron revisiones cruzadas entre la información consolidada y los reportes suministrados por las áreas de planeación y dirección de obra, con el fin de verificar la coherencia de fechas, duraciones, porcentajes de avance, actividades críticas y registros operativos utilizados dentro del análisis. Esta validación permitió garantizar la trazabilidad y representatividad de la información utilizada en el tablero analítico.

Una vez validada la información, se estructuró un modelo de datos relacional orientado al análisis por proyecto, contratista, actividad, especialidad, cumplimiento, puntualidad, incidencias, cobertura operativa y simultaneidad de ejecución entre obras. Esta estructura permitió construir medidas e indicadores en Power BI para el análisis descriptivo del desempeño operativo de los contratistas y su relación con el comportamiento del cronograma.

Finalmente, la información fue cargada en Power BI, donde se definieron relaciones entre tablas, medidas calculadas, filtros dinámicos y visualizaciones interactivas. Este proceso permitió transformar los registros históricos y operativos en un sistema analítico orientado a la evaluación objetiva del desempeño de contratistas, la capacidad operativa real de las cuadrillas y el análisis histórico de variables asociadas al cumplimiento de la programación de obra.

4.4.1. Proceso de integración y transformación de datos

El proceso de transformación de datos se desarrolló mediante Power Query, utilizando procedimientos de limpieza, depuración, homologación y normalización de información. En esta etapa se corrigieron inconsistencias relacionadas con formatos de fechas, nomenclaturas y estructuras de registro, además de eliminar registros duplicados, incompletos o inconsistentes dentro de las bases históricas analizadas.

Adicionalmente, se realizó la estandarización de nombres de proyectos, contratistas, actividades y especialidades, debido a las variaciones existentes en los criterios históricos de captura de información entre proyectos y plataformas. De igual manera, se homologaron actividades equivalentes registradas bajo diferentes denominaciones y se consolidaron registros asociados a contratistas que presentaban variaciones de escritura dentro de las fuentes de información.

A partir de este proceso se construyeron dimensiones analíticas comunes relacionadas con proyecto, contratista, actividad, calendario y estructura WBS (Work Breakdown Structure). Estas dimensiones permitieron consolidar información proveniente de Sentinel, Primavera P6 y registros biométricos sin depender de una llave primaria transaccional compartida entre las plataformas.

La integración analítica entre Sentinel y Primavera P6 se realizó principalmente mediante variables asociadas a proyecto, actividad, sector, subsector y grupo de trabajo. En este proceso, la

información relacionada con contratistas provino principalmente de la base histórica de Sentinel, debido a que Primavera P6 no contaba con asignaciones consistentes de recursos o contratistas para todas las actividades analizadas. En consecuencia, la estructura programática proveniente de Primavera fue enriquecida con la información operativa e histórica registrada en Sentinel, permitiendo relacionar el comportamiento de los contratistas con la estructura WBS y el comportamiento general del cronograma.

Por otra parte, la integración de registros biométricos se implementó específicamente para los tres proyectos seleccionados en fase de cierre, con el propósito de profundizar el análisis relacionado con la capacidad operativa real de los contratistas. Para ello, se homologaron nombres de contratistas y grupos de trabajo entre las bases de programación y los registros de ingreso de personal, permitiendo contrastar las cuadrillas programadas frente al personal que efectivamente ingresó a obra durante la ejecución de las actividades.

Como resultado del proceso de integración, se estructuró una tabla central de hechos orientada al análisis del desempeño operativo, la cobertura de cuadrillas y el comportamiento del cronograma, la cual fue relacionada con dimensiones auxiliares para facilitar la construcción de filtros, segmentaciones e indicadores dentro del tablero BI.

A partir de esta estructura se generaron variables derivadas para el análisis comparativo del desempeño, entre las cuales se incluyen desviación en días, variación porcentual frente a la duración programada, cumplimiento del cronograma, puntualidad, cobertura operativa, brecha entre personal programado y personal real, score integral de desempeño, número de obras ejecutadas, simultaneidad de proyectos y frecuencia de incidencias reportadas.

4.4.2. Modelo entidad-relación del sistema BI

Con el propósito de estructurar la información de manera organizada y facilitar el análisis dentro de Power BI, se diseñó un modelo analítico basado en una arquitectura de esquema estrella extendido o constelación de hechos. Esta estructura permitió integrar información relacionada con ejecución, programación e incidencias, manteniendo separadas las métricas principales de desempeño y los registros transaccionales asociados a incidencias reportadas durante la ejecución de obra.

La tabla principal de hechos consolidó la información relacionada con ejecución, programación, cumplimiento y comportamiento del cronograma, mientras que las incidencias fueron organizadas en una tabla transaccional secundaria, permitiendo analizar causas recurrentes sin duplicar las métricas principales de duración y desempeño.

La arquitectura analítica implementada permitió estructurar la información de manera relacional y consistente, facilitando la construcción de indicadores, filtros dinámicos y visualizaciones interactivas dentro del tablero BI. Asimismo, esta estructura contribuyó a mejorar la trazabilidad, segmentación y consistencia de la información integrada desde Sentinel y Primavera P6.

La Figura 6 presenta el modelo entidad-relación conceptual utilizado para estructurar la información dentro del sistema BI desarrollado en Power BI. El modelo se organizó bajo una estructura tipo estrella, en la cual la tabla central de hechos consolida la información relacionada con ejecución, programación, avance, cumplimiento e incidencias registradas durante la ejecución de los proyectos. Esta tabla se relaciona con dimensiones auxiliares asociadas a proyecto,

contratista, actividad, calendario y estructura WBS, permitiendo realizar análisis segmentados y comparativos desde diferentes perspectivas operativas.

Figura 6: Modelo entidad-relación conceptual del sistema BI desarrollado en Power BI.



Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Validación y consistencia del modelo

Una vez consolidado el modelo analítico, se realizó un proceso de validación orientado a garantizar la consistencia y trazabilidad de la información integrada en Power BI. Esta validación contempló revisiones comparativas entre los registros originales y los resultados visualizados en el tablero BI, verificando coherencia de fechas, duraciones, avances, relaciones entre actividades y comportamiento de indicadores.

Asimismo, se validó el correcto funcionamiento de filtros dinámicos, segmentaciones y relaciones entre tablas, garantizando que las visualizaciones respondieran adecuadamente a los criterios de análisis definidos para el modelo. De igual manera, se revisó la correspondencia entre los indicadores generados y la información histórica consolidada, con el fin de asegurar que los resultados obtenidos representaran adecuadamente el comportamiento real de los proyectos analizados.

Durante este proceso también se identificaron limitaciones relacionadas con la calidad y consistencia de algunas variables históricas, especialmente en registros asociados a incidencias y trazabilidad operativa. Esta situación evidenció la importancia de fortalecer los procesos de captura y estandarización de información dentro de los sistemas de programación y seguimiento utilizados por la organización, particularmente en Oracle Primavera P6, con el propósito de consolidar bases de datos más robustas para futuros procesos de análisis mediante herramientas de Business Intelligence.

Finalmente, la validación permitió garantizar que el modelo BI desarrollado mantuviera coherencia analítica, trazabilidad de la información y estabilidad en la generación de indicadores, consolidándose como una herramienta de soporte para el análisis histórico del desempeño operativo de contratistas y del comportamiento del cronograma en proyectos de vivienda.

4.5. Fase 4. Analítica descriptiva y visualización del desempeño

Objetivo: Desarrollar un tablero de Business Intelligence en Power BI que permita visualizar, analizar y comparar el desempeño histórico de los contratistas y su relación con el cumplimiento del cronograma en los proyectos seleccionados.

En esta fase se desarrolló el sistema de visualización analítica mediante Power BI, utilizando la información previamente depurada, integrada y validada. El tablero fue diseñado bajo un enfoque de analítica descriptiva, orientado a transformar los datos históricos en información gráfica, comparativa y útil para la toma de decisiones.

El sistema de Business Intelligence se estructuró mediante diferentes páginas o módulos de análisis, cada uno orientado a responder una necesidad específica de información. Estos módulos permiten analizar el comportamiento general de los contratistas, establecer rankings de desempeño, evaluar contratistas por actividad, revisar indicadores individuales, comparar curvas de avance planificado y ejecutado, y consultar información proveniente de cronogramas de obra.

Dentro del sistema BI se incorporó una visualización específica orientada al análisis de cobertura operativa por contratista, permitiendo comparar diariamente el personal programado en Sentinel calculado como la suma de oficiales y ayudantes frente al personal real registrado mediante biometría. Esta visualización incorpora indicadores semaforizados para identificar contratistas críticos, alertas operativas y niveles adecuados de cobertura de personal.

La Figura 7 presenta la estructura general del tablero desarrollado en Power BI. La interfaz fue diseñada con una navegación lateral que permite acceder a los principales módulos del sistema: visión general, ranking de contratistas, recomendador por actividad, desempeño integral por contratista, curvas S por contratista y datos provenientes de cronogramas de obra. Esta organización permite que el usuario consulte la información de manera ordenada y según el nivel de detalle requerido.

El diseño del tablero responde a la necesidad de consolidar en un solo sistema la información histórica de desempeño de contratistas, capacidad operativa, cumplimiento del cronograma e incidencias reportadas. De esta manera, el modelo facilita la lectura comparativa de los datos y

permite identificar patrones de comportamiento relevantes para la gestión de proyectos de construcción.

Figura 7: Estructura general del sistema de Business Intelligence desarrollado en Power BI.



Nota. Elaboración propia de la arquitectura funcional del tablero analítico desarrollado en Power BI para la visualización y análisis del desempeño operativo de contratistas.

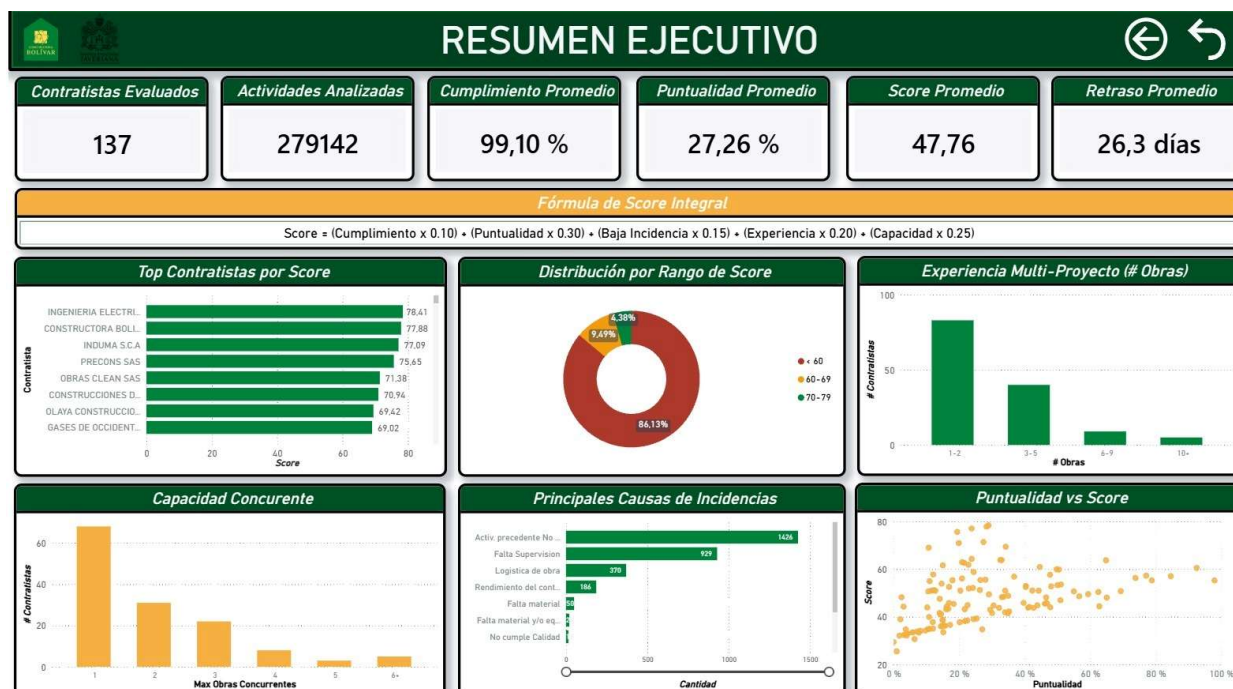
La Figura 8 muestra la vista general del tablero, en la cual se integran indicadores consolidados relacionados con el número de contratistas evaluados, actividades analizadas, cumplimiento promedio, puntualidad promedio, score promedio y retraso promedio. Estos indicadores permiten obtener una lectura global del comportamiento de la base histórica analizada.

Adicionalmente, esta página incorpora visualizaciones relacionadas con el ranking de contratistas, la distribución por rangos de score, la experiencia multiproyecto, la capacidad concurrente, las principales causas de incidencias y la relación entre puntualidad y score. Esta estructura facilita el análisis descriptivo del desempeño de los contratistas y permite identificar tendencias generales en la información histórica.

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiazZDkYTZmOTctOGY3NC00ZDdjLTNmM2Q0OTIyOTc0YjM2MzA2IiwidCI6IjE2YWY2YjQ1LTAwYzUtNGJhMy05ZDRjLTU0ZmExNmU0MzYwMyIsImMiOiR9>

Desde el punto de vista metodológico, el tablero no busca realizar predicciones automáticas ni implementar modelos de inteligencia artificial, sino fortalecer el análisis histórico, comparativo y descriptivo del desempeño operativo de los contratistas. En este sentido, el sistema desarrollado se constituye en una herramienta de soporte para la toma de decisiones basada en datos, orientada a mejorar la planeación y evaluación de contratistas en futuros proyectos.

Figura 8: Resumen Ejecutivo del tablero analítico e indicadores consolidados de desempeño



Nota. Elaboración propia a partir de información histórica de Sentinel, datos de programación y control de obra en Primavera P6 y registros biométricos utilizados para el análisis del desempeño operativo de contratistas.

4.6. Fase 5. Evaluación de resultados

Objetivo: Evaluar el comportamiento del sistema de Business Intelligence desarrollado, verificando su capacidad para consolidar información histórica, visualizar indicadores de desempeño y apoyar el análisis del cumplimiento del cronograma y del desempeño operativo de los contratistas.

En esta fase se realizó la evaluación funcional y analítica del sistema de Business Intelligence desarrollado en Power BI, considerando su capacidad para integrar información histórica proveniente de diferentes fuentes y transformarla en indicadores visuales orientados al análisis del desempeño de los contratistas.

La evaluación se enfocó principalmente en verificar si el tablero permitía responder a las necesidades identificadas durante el diagnóstico inicial y las entrevistas realizadas a las áreas de planeación, dirección de obra y gestión de contratistas. En particular, se evaluó la capacidad del sistema para visualizar información relacionada con cumplimiento del cronograma, puntualidad, retrasos promedio, incidencias, experiencia multiproyecto y concurrencia de obras.

Asimismo, se revisó la funcionalidad de los dashboards desarrollados, validando la correcta interacción entre filtros, segmentaciones, tablas y visualizaciones comparativas. Esta revisión permitió verificar la trazabilidad de la información y la coherencia entre los indicadores calculados y los datos históricos utilizados en el análisis.

Como parte de esta fase, se identificó que el tablero desarrollado permite consolidar información previamente dispersa en una estructura analítica centralizada, facilitando la interpretación del comportamiento histórico de los contratistas y el análisis comparativo entre proyectos, actividades y especialidades.

De igual manera, la evaluación permitió evidenciar que el sistema facilita la identificación de patrones asociados a desviaciones del cronograma, actividades críticas, concurrencia de obras e incidencias recurrentes durante la ejecución. Esto fortalece la capacidad de análisis y proporciona información de apoyo para procesos futuros de planeación, asignación y seguimiento de contratistas.

Es importante precisar que la evaluación realizada corresponde a una validación funcional y analítica del modelo desarrollado, enfocada en la utilidad del sistema como herramienta de análisis descriptivo y soporte para la toma de decisiones. En consecuencia, el alcance de esta investigación no contempla la implementación corporativa del sistema ni el desarrollo de modelos predictivos o automatizados de inteligencia artificial.

Finalmente, los resultados obtenidos durante esta fase permitieron consolidar el análisis presentado en el Capítulo 5, donde se exponen las principales visualizaciones del tablero y los hallazgos identificados a partir de la implementación del sistema de Business Intelligence.

4.6.1. Estandarización y calidad del dato

Durante el desarrollo de la investigación se evidenció que la organización cuenta actualmente con una estructura de programación estandarizada dentro de Oracle Primavera P6, debido a que la elaboración y parametrización de actividades, contratistas y estructuras de cronograma es gestionada desde un único departamento encargado de la planeación de los proyectos. Por esta razón, las actividades, secuencias constructivas y nomenclaturas utilizadas en las diferentes obras mantienen criterios homogéneos, permitiendo una base sólida para el desarrollo del sistema BI.

Sin embargo, se identificó que, aunque la estructura del reporte es la misma para todas las obras, la frecuencia y oportunidad con la que se actualiza la información puede variar dependiendo de la dinámica operativa de cada residente y de las prioridades diarias de obra. Esto genera diferencias en la calidad y actualidad de la información disponible para el análisis en tiempo real.

Adicionalmente, se evidenció que muchas obras llevan controles internos complementarios mediante hojas de cálculo y reportes paralelos, no porque exista falta de estandarización en Primavera P6, sino debido a las limitaciones actuales para visualizar de manera clara y práctica la

información reportada dentro de la herramienta. Como consecuencia, los residentes recurren a controles adicionales para facilitar el seguimiento operativo diario, los rendimientos y el estado real de avance de los contratistas.

En este sentido, se recomienda que el sistema BI permita centralizar y visualizar de forma más clara, dinámica y accesible la información ya registrada en Primavera P6, reduciendo así la necesidad de controles paralelos y fortaleciendo el aprovechamiento analítico de los datos generados en obra.

4.6.2. Automatización, apropiación y fortalecimiento del uso del dato

Otro de los hallazgos relevantes corresponde a la alta carga operativa que enfrenta el personal de obra, especialmente residentes, quienes deben consolidar información proveniente de múltiples fuentes para alimentar los reportes de seguimiento. Esta situación limita el tiempo disponible para realizar análisis técnicos y afecta directamente la calidad y oportunidad del dato reportado.

Por esta razón, la recomendación estratégica no consiste en aumentar la cantidad de reportes solicitados, sino en simplificar y automatizar los procesos de captura y visualización de la información. Se propone avanzar hacia herramientas móviles integradas con Oracle Primavera P6 que permitan realizar el reporte diario directamente desde campo y alimentar automáticamente el tablero BI en tiempo real.

Adicionalmente, se recomienda fortalecer la integración del dashboard con otras bases de datos y sistemas de información utilizados dentro de la operación de obra, especialmente aquellos relacionados con disponibilidad de mano de obra, control biométrico, rendimientos y seguimiento operativo diario. Esto permitiría alimentar automáticamente el sistema BI con variables críticas

para el control del cronograma, reduciendo la dependencia de registros manuales y mejorando la confiabilidad de la información utilizada para el análisis.

La integración de estas fuentes de datos facilitaría la identificación temprana de desviaciones asociadas a bajo rendimiento, déficit de personal o incumplimientos operativos, variables que fueron identificadas durante la investigación como factores determinantes en los atrasos de obra.

Por otra parte, durante el desarrollo de la investigación se evidenció que gran parte del personal operativo percibe actualmente el reporte diario como una actividad administrativa orientada únicamente al control jerárquico y al cumplimiento documental. Esto ocurre principalmente porque la información registrada en obra no se visualiza posteriormente en una herramienta que genere valor real para la gestión diaria del residente o del director de obra.

En consecuencia, muchos de los reportes son percibidos como tareas repetitivas que consumen tiempo operativo sin generar beneficios visibles para quienes realizan el cargue de información. Esta situación afecta directamente la calidad, oportunidad y veracidad del dato registrado en Primavera P6.

Por esta razón, se recomienda fortalecer la apropiación del sistema BI mediante ciclos de retroalimentación donde residentes y directores puedan utilizar los dashboards como herramientas activas para la toma de decisiones diarias, seguimiento de contratistas, priorización de actividades críticas y anticipación de riesgos operativos.

4.6.3. Integración tecnológica y fortalecimiento analítico

En términos tecnológicos, se identificó una oportunidad importante de mejora mediante la integración entre Oracle Primavera P6 y los sistemas biométricos de control de acceso de obra. Esta integración permitiría contrastar automáticamente las cuadrillas programadas frente a la

asistencia real del personal en campo, facilitando la identificación temprana de incumplimientos relacionados con déficit de mano de obra. Para ello, se recomienda que el sistema biométrico permita diferenciar y clasificar el personal registrado según su función dentro de la obra, identificando cuáles corresponden a oficiales, ayudantes y personal administrativo del contratista que no participa directamente en la ejecución de actividades operativas. Esto permitiría realizar análisis más precisos sobre productividad, capacidad operativa real y rendimiento de las cuadrillas ejecutoras.

Asimismo, la integración de estas plataformas facilitaría detectar oportunamente desviaciones operativas y tomar decisiones correctivas antes de que el impacto sobre el cronograma sea crítico.

Adicionalmente, se recomienda incorporar dentro del tablero BI un componente específico para el análisis de sobrecostos asociados a contratistas. Durante la investigación se evidenció que actualmente gran parte de las decisiones de contratación se toman principalmente con base en costos iniciales y cumplimiento general percibido, sin contar con herramientas que permitan visualizar el impacto económico real generado durante la ejecución de los proyectos.

Por esta razón, se propone desarrollar indicadores que permitan relacionar el desempeño de los contratistas con los sobrecostos generados durante la ejecución, la cantidad de reprocesos asociados, las variaciones frente al presupuesto inicial, las afectaciones sobre actividades predecesoras y sucesoras, así como el impacto económico derivado de los atrasos en el cronograma. La incorporación de este componente permitiría construir históricos de desempeño mucho más completos y facilitaría la toma de decisiones futuras en procesos de adjudicación y selección de contratistas, basándose no solo en percepciones cualitativas, sino en evidencia cuantitativa obtenida durante proyectos anteriores.

4.6.4. Validación y control de integridad de la información

Finalmente, se recomienda fortalecer las reglas de negocio y validación dentro del proceso de reporte en Primavera P6, con el objetivo de garantizar la integridad y confiabilidad de la información utilizada para el análisis de indicadores.

Dentro de las principales recomendaciones se encuentra la parametrización obligatoria de causas de atraso cuando una actividad presente desviaciones frente al cronograma programado. Durante el análisis se identificó una alta recurrencia de actividades reportadas sin causa clara de incumplimiento, dificultando determinar responsabilidades reales frente a los retrasos de obra.

Asimismo, se recomienda restringir el reporte de avances de actividades que no cuenten con contratistas formalmente asignados dentro del sistema, garantizando así que los análisis de productividad, PAC y desempeño contractual se construyan sobre información completa y validada.

En conclusión, la investigación permitió evidenciar que el verdadero valor de un sistema BI no radica únicamente en la visualización gráfica de indicadores, sino en su capacidad para representar de manera fiel la realidad operativa de los proyectos. Sin datos confiables, homologados y trazables, el sistema únicamente aceleraría la toma de decisiones equivocadas. Por esta razón, el fortalecimiento de la calidad del dato y de la cultura organizacional alrededor de la información debe considerarse como un componente estratégico fundamental para futuras implementaciones de Business Intelligence en el sector construcción.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El presente capítulo expone los resultados obtenidos a partir del desarrollo del sistema de Business Intelligence implementado en Power BI. El análisis se fundamenta en la información histórica de los proyectos seleccionados y en los indicadores definidos para evaluar el desempeño operativo de los contratistas y su impacto en el cumplimiento del cronograma.

Los resultados se presentan a través de las principales páginas del tablero desarrollado, las cuales permiten analizar el comportamiento general de los contratistas, establecer comparaciones mediante un ranking integral, evaluar el desempeño individual, revisar curvas de avance planificado y ejecutado, e identificar patrones relacionados con puntualidad, retrasos, incidencias y concurrencia de obras.

5.1. Visión general del desempeño de contratistas

La página de visión general permite consolidar los principales indicadores del modelo BI y obtener una lectura inicial del comportamiento histórico de los contratistas evaluados.

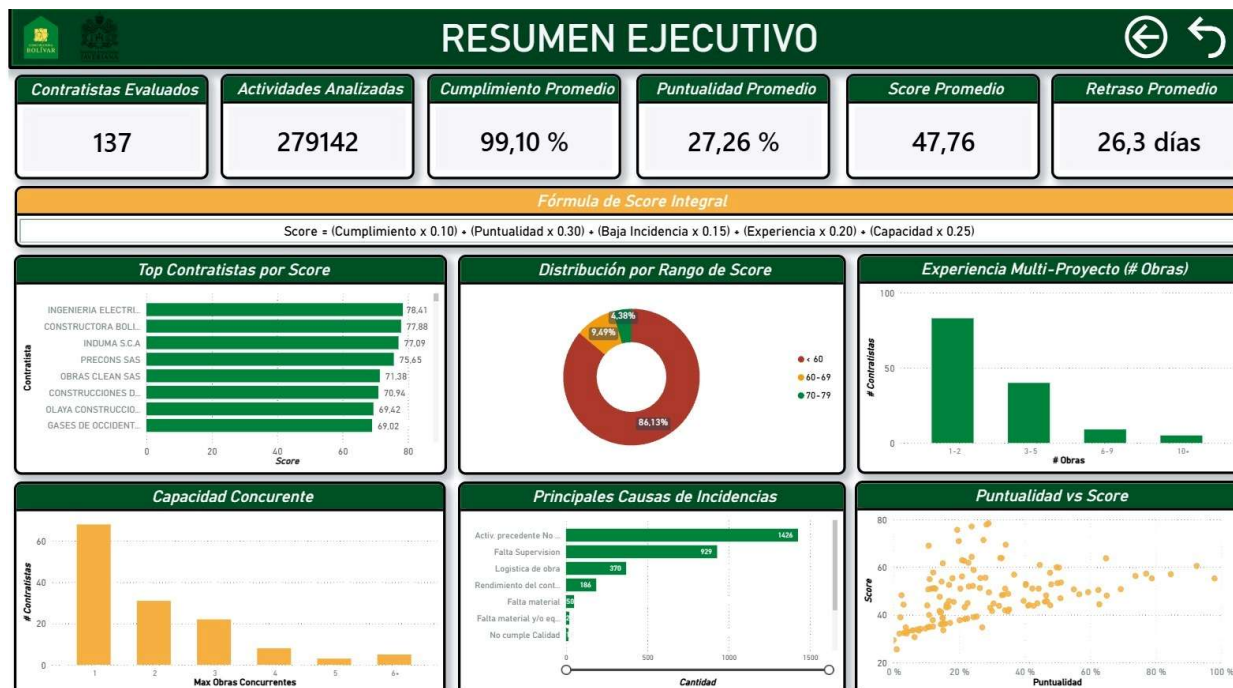
La Figura 9 evidencia que el tablero integra indicadores clave como contratistas evaluados, actividades analizadas, cumplimiento promedio, puntualidad promedio, score promedio y retraso promedio. Estos indicadores permiten caracterizar de manera general la base histórica utilizada y establecer una primera aproximación al desempeño operativo de los contratistas.

Adicionalmente, esta página incorpora visualizaciones relacionadas con el ranking de contratistas, la distribución por rangos de score, la experiencia multiproyecto, la capacidad concurrente, las principales causas de incidencias y la relación entre puntualidad y score. Esta estructura facilita el análisis descriptivo del desempeño de los contratistas y permite identificar tendencias generales en la información histórica.

El tablero fue diseñado bajo un enfoque de interacción dinámica entre visualizaciones, permitiendo que la selección de cualquier elemento dentro de una gráfica o indicador filtre automáticamente la información presentada en las demás visualizaciones de la página. Esta funcionalidad facilita el análisis detallado de subconjuntos específicos de datos, permitiendo explorar relaciones entre variables como desempeño, puntualidad, concurrencia de obras, incidencias y comportamiento operativo de los contratistas.

Desde el punto de vista metodológico, el tablero no busca realizar predicciones automáticas ni implementar modelos de inteligencia artificial, sino fortalecer el análisis histórico, comparativo y descriptivo del desempeño operativo de los contratistas. En este sentido, el sistema desarrollado se constituye en una herramienta de soporte para la toma de decisiones basada en datos, orientada a mejorar la planeación y evaluación de contratistas en futuros proyectos.

Figura 9: Visión general de indicadores consolidados del sistema BI.



Nota. Elaboración propia a partir de información histórica de Sentinel, datos de programación y control de obra en Primavera P6 y registros biométricos, integrados en un tablero interactivo desarrollado en Power BI.

5.2. Ranking integral de contratistas

El ranking integral de contratistas permite comparar el desempeño de cada contratista a partir de un score compuesto por variables asociadas al cumplimiento, puntualidad, baja incidencia, experiencia y capacidad operativa.

La Figura 10 presenta el ranking de contratistas evaluados en el sistema BI. Esta visualización permite ordenar los contratistas de acuerdo con su score integral, facilitando la identificación de aquellos con mejor desempeño histórico y aquellos que presentan mayores oportunidades de mejora.

El tablero incorpora variables como número de actividades ejecutadas, porcentaje de cumplimiento, puntualidad, retraso promedio, tasa de incidencias, número de obras atendidas, obras concurrentes, principales actividades ejecutadas y calificación general. Esta información permite realizar una evaluación más completa del contratista, evitando que el análisis se limite únicamente al cumplimiento de actividades.

Los resultados evidencian que el desempeño de los contratistas no depende de una sola variable, sino de la combinación entre cumplimiento, oportunidad, experiencia, capacidad de atención simultánea e incidencia de problemas durante la ejecución.

El análisis comparativo evidencia que contratistas con niveles similares de cumplimiento pueden presentar diferencias significativas en puntualidad, incidencias y concurrencia de obras, lo cual demuestra la necesidad de evaluar el desempeño desde una perspectiva integral y no únicamente a partir del avance ejecutado.

Figura 10: Ranking comparativo de contratistas según score integral de desempeño.

RANKING CONTRATISTAS											
Contratista				Orden							
Todas				Score							
#	Contratista	Score	Actividades	Cumplimiento	Puntualidad	Retraso Promedio	Tasa Incidentes	Obras	Obras Concurrentes	Top 3 Actividades	Calificación
1	INGENIERIA ELECTRICA Y CONSTRUCCIONES SAS	78,41	17863	100,00 %	28,95 %	22,2	1,83	11	9	Punto Fijo, Estructura, Acabados	★★★★☆
2	CONSTRUCTORA BOLIVAR CALI S A	77,88	6571	95,56 %	28,36 %	44,7	1,23	10	6	Estructura, Detallado, Calidad	★★★★☆
3	INDUMA S.CA	77,09	5208	100,00 %	23,83 %	27,8	0,42	10	6	Salon Social, Punto Fijo, Acabados	★★★★☆
4	PRECONS SAS	75,65	4266	100,00 %	19,41 %	31,0	1,15	8	7	Acabados ON, Acabados, Culatas	★★★★☆
5	OBRAS CLEAN SAS	71,38	9305	99,96 %	27,41 %	30,8	1,13	7	5	Obra Gris, Detallado, Acabados	★★★★☆
6	CONSTRUCCIONES DANIEL DIAZ SAS	70,94	16396	100,00 %	19,88 %	20,5	0,18	6	6	Obra Gris, Estructura, Cimentacion	★★★★☆
7	OLAYA CONSTRUCCIONES PROMOLDADOS SAS	69,42	4080	100,00 %	34,19 %	24,4	0,00	7	4	Salon Social, Acabados, Punto Fijo	★★★★☆
8	GASES DE OCCIDENTE S.A. E.S.P	69,02	738	100,00 %	10,70 %	50,7	0,14	10	5	Obra Gris, Red Gas, Punto Fijo	★★★★☆
9	Grupo AZLO S.A.S.	64,29	84	100,00 %	23,81 %	28,8	2,38	10	3	Piscina, Juegos Infantiles	★★★★☆
10	ESTRUCTURAS Y MONTAJES DMJ SAS	63,81	697	100,00 %	32,57 %	15,5	0,86	5	4	Acabados, Culatas, Cubierta	★★★★☆
11	CLA ENCHAPES SAS	63,80	17030	100,00 %	32,98 %	22,3	1,74	5	4	Punto Fijo, Acabados, Obra Gris	★★★★☆
12	ACABADOS Y PINTURAS CANTERO GIRALDO SAS	63,71	12827	98,63 %	54,52 %	3,4	0,09	4	3	Punto Fijo, Fachada, Acabados	★★★★☆
12	CONSTRUCCIONES Y SOLUCIONES TECNICAS SAS	63,71	1586	99,94 %	10,28 %	46,8	1,32	6	5	Estructura, Cubierta, Obra Gris	★★★★☆
13	TEMLADO BOGOTA S.A.S.	62,93	3842	100,00 %	20,90 %	30,7	0,03	6	4	Punto Fijo, Acabados	★★★★☆
14	RED A GAS Y CALEFACCION SAS	62,64	2562	100,00 %	21,51 %	35,9	3,16	6	4	Acabados ON, Punto Fijo, Obra Gris	★★★★☆

Nota. Elaboración propia de ranking comparativo desarrollado en Power BI a partir de información histórica de Sentinel, datos de programación de obra en Primavera P6.

5.3. Evaluación individual del desempeño por contratista

La evaluación individual permite analizar en detalle el comportamiento de un contratista específico frente al promedio general de la base histórica.

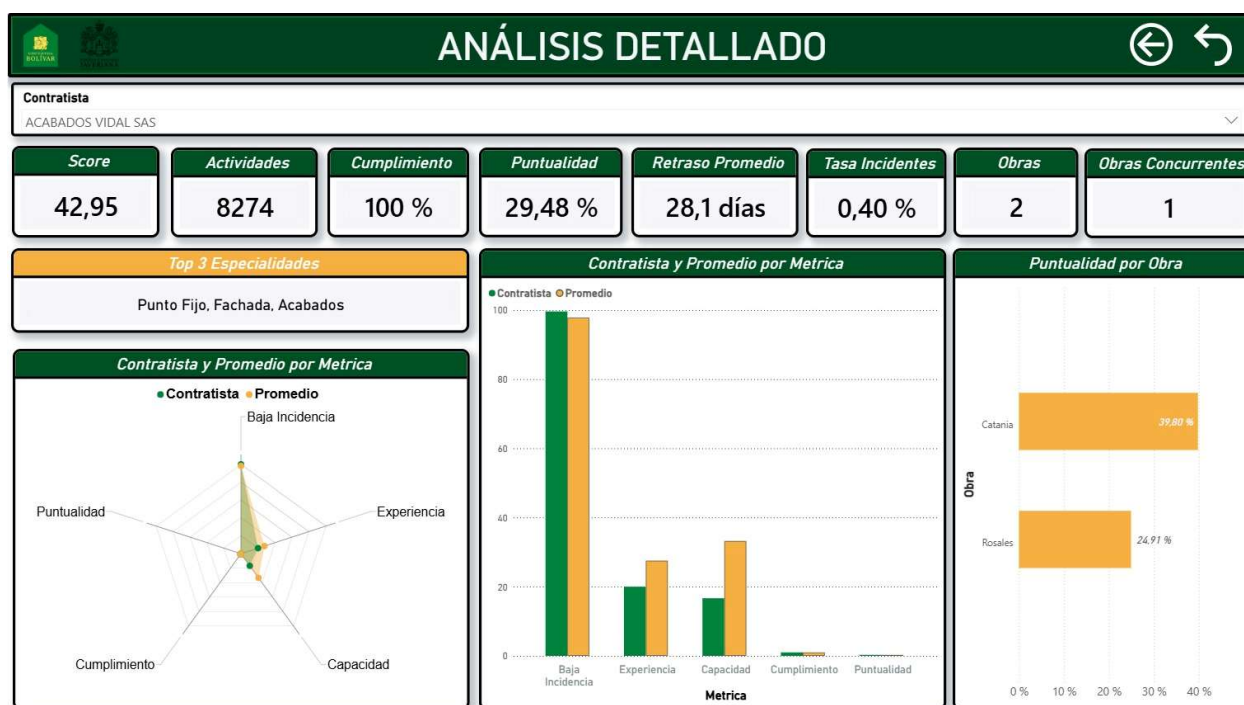
La Figura 11 muestra el análisis detallado de un contratista seleccionado, integrando indicadores como score, número de actividades, cumplimiento, puntualidad, retraso promedio, tasa de incidencias, número de obras y obras concurrentes.

Esta visualización permite comparar el comportamiento del contratista frente al promedio general en diferentes dimensiones de desempeño. El gráfico tipo radar facilita la lectura de variables como baja incidencia, capacidad, experiencia, cumplimiento y puntualidad, permitiendo identificar fortalezas y debilidades específicas.

A partir de esta página, es posible reconocer contratistas que, aunque presentan experiencia o alto volumen de actividades ejecutadas, pueden registrar bajos niveles de puntualidad o retrasos promedio significativos. Esto evidencia la importancia de evaluar el desempeño de manera integral y no únicamente a partir de la cantidad de actividades ejecutadas o la experiencia acumulada.

En consecuencia, esta visualización aporta valor al proceso de toma de decisiones, ya que permite analizar si un contratista cuenta con un desempeño histórico suficientemente estable para asumir nuevas actividades o proyectos sin comprometer el cumplimiento del cronograma.

Figura 11: Análisis integral del desempeño individual de contratistas.



Nota. Elaboración propia de tablero analítico orientado a la evaluación multidimensional del desempeño de contratistas, construido con información histórica de Sentinel, programación de obra en Primavera P6.

5.4. Curva S por obra y contratista

El análisis mediante Curva S permite comparar el avance planificado frente al avance real de ejecución, identificando desviaciones acumuladas durante el desarrollo de las actividades.

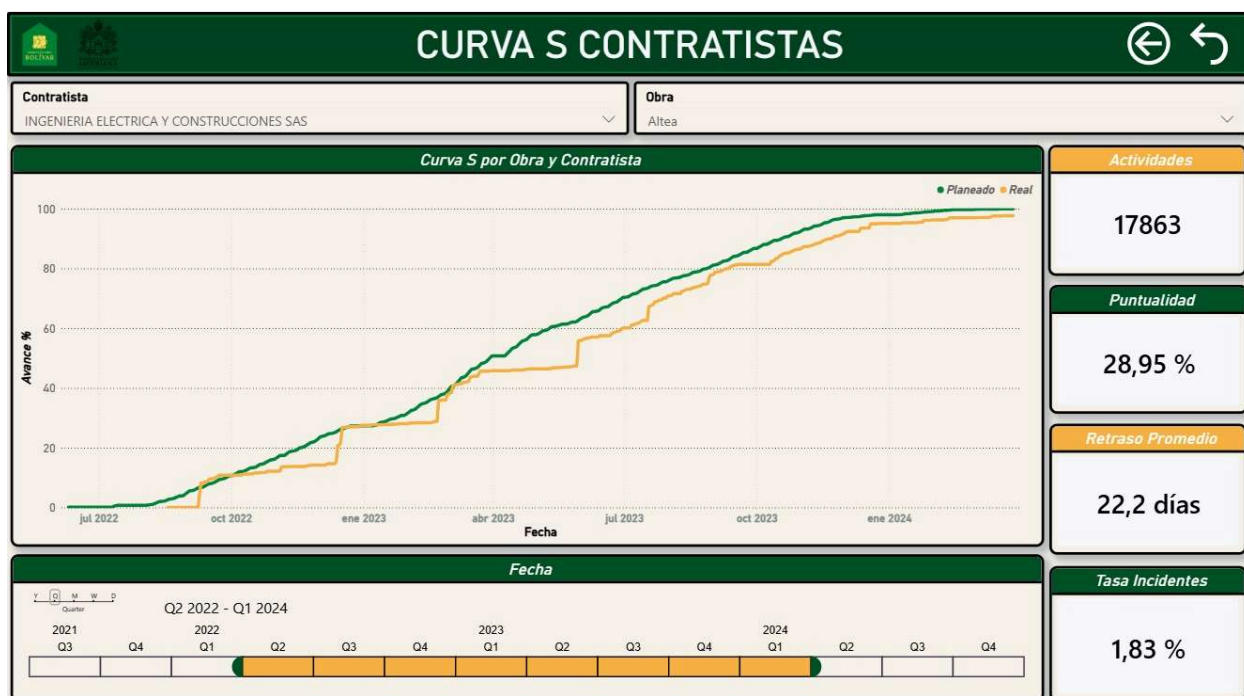
La Figura 12 presenta la comparación entre el avance planificado y el avance real para un contratista y una obra seleccionada. Esta visualización permite identificar los periodos en los cuales se presentan diferencias entre la programación inicial y la ejecución real.

La separación entre ambas curvas evidencia desviaciones en el cumplimiento del cronograma, las cuales pueden estar asociadas a limitaciones en la capacidad operativa, baja disponibilidad de personal, problemas de coordinación, incidencias en obra o retrasos acumulados en actividades precedentes.

El uso de la Curva S dentro del tablero permite analizar no solo el resultado final de la actividad, sino también el comportamiento del avance a lo largo del tiempo. Esto facilita la identificación de momentos críticos de desviación y permite relacionar el desempeño del contratista con el comportamiento general del cronograma.

Desde la perspectiva del modelo BI, esta visualización constituye uno de los principales aportes del sistema, ya que permite transformar los registros históricos de avance en una herramienta gráfica de análisis comparativo entre lo planificado y lo ejecutado.

Figura 12: Comparación entre avance planificado y avance ejecutado mediante Curva S.



Nota. Elaboración propia de tablero analítico para seguimiento del cumplimiento del cronograma mediante Curva S, construido con información histórica de Sentinel, datos de programación de obra en Primavera P6.

5.5. Análisis de capacidad operativa y concurrencia de obras

La capacidad operativa y la concurrencia de obras son variables relevantes para evaluar el desempeño de los contratistas, debido a que la atención simultánea de varios proyectos puede afectar la disponibilidad de recursos y el cumplimiento de los cronogramas.

La Figura 13 permite analizar la distribución de contratistas según el número de obras en las que han participado y el número máximo de obras atendidas de manera concurrente. Esta información es relevante porque permite identificar el nivel de experiencia de los contratistas y su capacidad histórica para ejecutar actividades en diferentes proyectos.

Adicionalmente, el tablero incorpora funcionalidades de interacción dinámica que permiten seleccionar un contratista específico dentro de las visualizaciones, filtrando automáticamente la información asociada a dicho contratista en los demás gráficos e indicadores

de la página. Esta funcionalidad facilita el análisis individual de variables como número total de obras ejecutadas, nivel de concurrencia de proyectos y comportamiento operativo histórico, permitiendo una lectura más detallada de la capacidad operativa de cada contratista.

Los resultados evidencian que algunos contratistas han participado en múltiples obras, lo cual puede interpretarse como experiencia acumulada. Sin embargo, la participación simultánea en varios proyectos también puede representar un riesgo operativo si no existe una capacidad suficiente de personal, cuadrillas y recursos para atender adecuadamente todos los frentes de trabajo.

Por esta razón, el análisis de concurrencia permite complementar la evaluación tradicional del contratista, incorporando una lectura más estratégica sobre su capacidad real de atención. Esta información resulta especialmente relevante en actividades críticas que requieren continuidad operativa y cumplimiento estricto del cronograma.

Como complemento al análisis histórico del desempeño de los contratistas, se desarrolló una visualización orientada a evaluar la cobertura operativa diaria mediante la comparación entre las cuadrillas programadas y el personal real registrado en obra. Para ello, se integraron los datos históricos provenientes de Sentinel con registros biométricos de ingreso de personal, permitiendo contrastar el número de oficiales y ayudantes programados frente a la cantidad de trabajadores que efectivamente ingresaron a cada proyecto.

A partir de esta integración, se construyeron indicadores asociados a cobertura operativa, brecha de personal y estado operativo del contratista, utilizando una lógica semaforizada para identificar condiciones óptimas, alertas y situaciones críticas. Este análisis permitió identificar contratistas con déficit recurrente de personal, así como variaciones entre la planeación operativa y la ejecución real en obra

Figura 13: Relación entre experiencia multiproyecto y capacidad concurrente de contratistas.



Nota. Elaboración propia de herramienta analítica para evaluación de experiencia histórica y capacidad concurrente de contratistas, desarrollada en Power BI con información de Sentinel, Primavera P6.

5.6. Análisis de incidencias y causas recurrentes

El análisis de incidencias permite identificar las principales causas que afectan la ejecución de las actividades y que pueden incidir en el cumplimiento del cronograma.

La Figura 14 muestra las principales causas de incidencias registradas durante la ejecución de las actividades analizadas. Esta visualización permite identificar factores recurrentes que afectan el desempeño operativo de los contratistas y generan desviaciones en la programación.

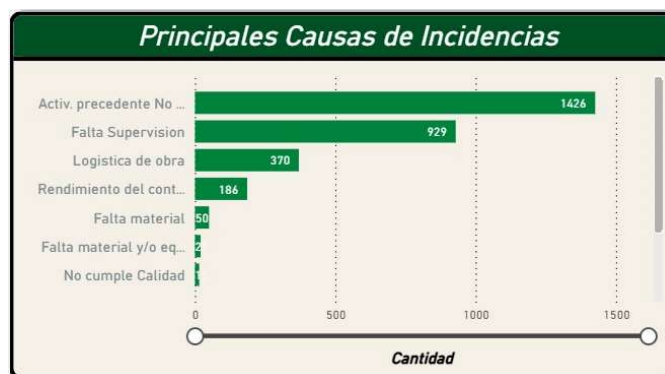
Entre las causas analizadas se incluyen situaciones asociadas a actividades precedentes, falta de supervisión, logística de obra, disponibilidad de materiales, interferencias operativas y aspectos relacionados con el rendimiento del contratista. Estos factores evidencian que las desviaciones del cronograma no dependen exclusivamente del desempeño individual del contratista, sino también de condiciones operativas y de coordinación presentes durante la ejecución del proyecto.

En este sentido, el registro y análisis de incidencias constituye una de las variables más relevantes para interpretar adecuadamente las causas del incumplimiento en obra, ya que permite diferenciar si las desviaciones observadas corresponden realmente a problemas atribuibles al contratista o si se encuentran asociadas a factores externos relacionados con la gestión del proyecto, actividades precedentes o condiciones operativas generales.

No obstante, durante el desarrollo de la investigación se identificó que el registro histórico de incidencias no fue realizado de manera completamente estandarizada ni rigurosa en todos los proyectos analizados, lo cual limitó parcialmente la trazabilidad y profundidad del análisis causal. Esta situación evidenció la importancia de fortalecer los procesos de captura y clasificación de incidencias dentro de los sistemas de seguimiento de obra, debido a que la calidad y consistencia de esta información resulta fundamental para futuros análisis comparativos y procesos de evaluación objetiva del desempeño de contratistas.

A pesar de esta limitación, el sistema BI permitió visualizar patrones generales de incidencias y evidenciar la necesidad de incorporar mecanismos más estructurados de registro y control de información operativa dentro de la gestión de proyectos de construcción.

Figura 14: Principales causas de incidencias reportadas durante la ejecución.



Nota. Elaboración propia de tablero analítico orientado a la identificación de causas recurrentes de incidencias que afectan el desempeño operativo y el cumplimiento del cronograma, construido con información histórica de Sentinel, datos de programación de obra en Primavera P6.

5.7. Relación entre puntualidad y score integral

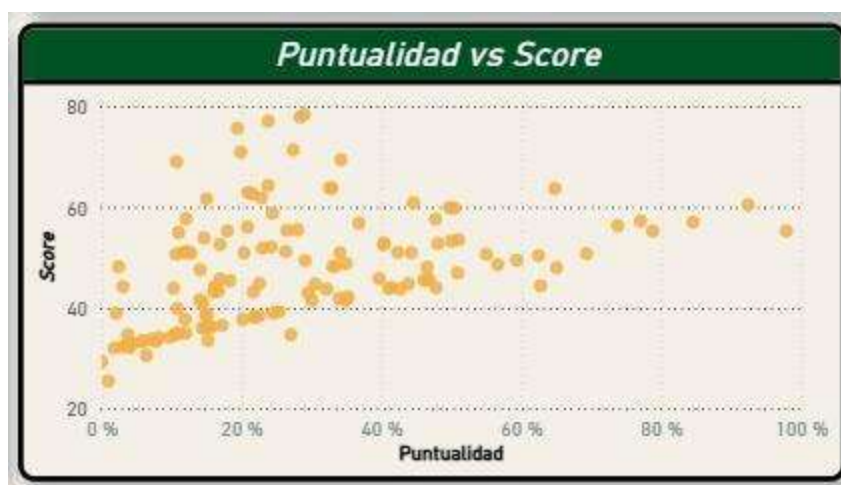
La relación entre puntualidad y score integral permite analizar si los contratistas con mejor comportamiento en términos de oportunidad también presentan mejores resultados generales de desempeño.

La Figura 15 presenta la relación entre el porcentaje de puntualidad y el score integral de desempeño de los contratistas. Esta visualización permite observar la dispersión de los datos y analizar tendencias entre ambas variables.

En términos generales, el gráfico evidencia que los contratistas con mayores niveles de puntualidad tienden a ubicarse en rangos superiores de score, lo cual confirma la importancia de la oportunidad en la ejecución como variable determinante dentro de la evaluación integral del desempeño.

No obstante, también se observan diferencias entre contratistas con niveles similares de puntualidad, lo cual indica que el score no depende únicamente de esta variable, sino de la combinación de diferentes dimensiones como cumplimiento, baja incidencia, experiencia y capacidad operativa. Esto refuerza la pertinencia de utilizar un indicador integral que permita evaluar el desempeño desde una perspectiva más completa.

Figura 15: Relación entre puntualidad y score integral de desempeño



Nota. Elaboración propia de herramienta analítica para evaluación de la relación entre puntualidad y score integral de desempeño de contratistas, desarrollada con información histórica de Sentinel, datos de programación de obra en Primavera P6.

5.8. Recomendador por actividad

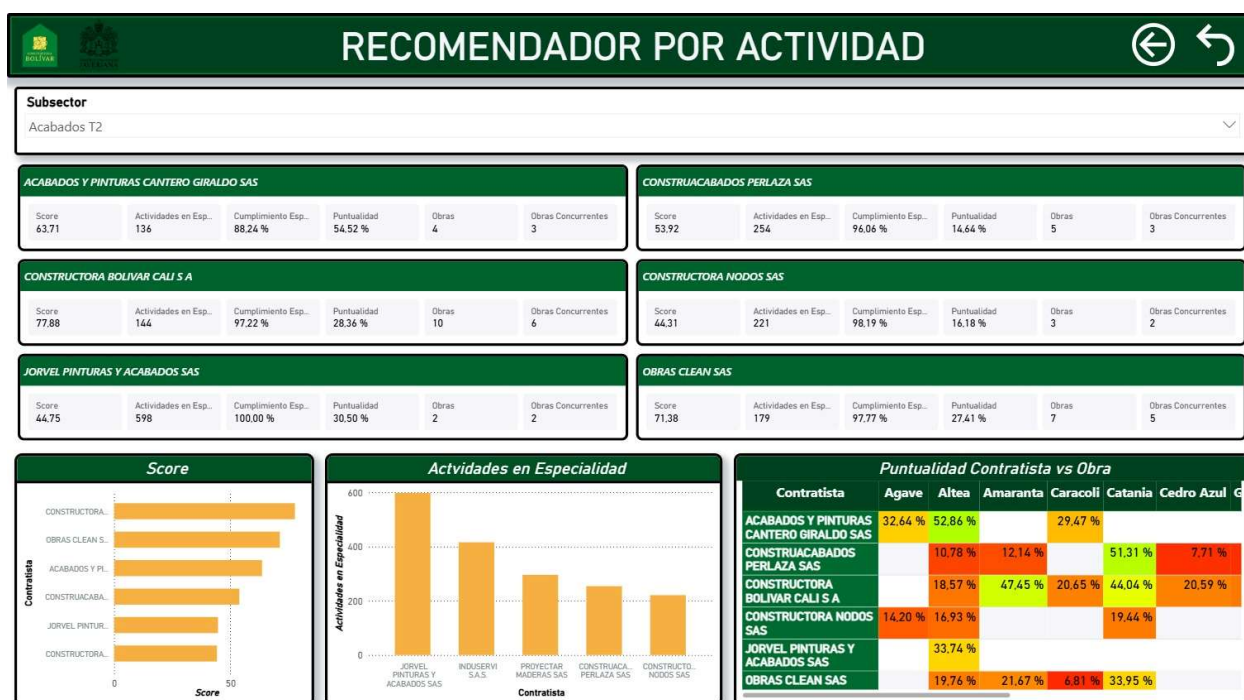
El recomendador por actividad permite analizar el desempeño histórico de los contratistas según las actividades ejecutadas, facilitando la identificación de contratistas con mejor comportamiento para actividades específicas.

La Figura 16 presenta el módulo de recomendación por actividad, diseñado para apoyar el análisis comparativo de contratistas según su desempeño histórico en actividades específicas. Esta visualización permite filtrar la información por tipo de actividad y consultar los contratistas con mejor comportamiento según indicadores como cumplimiento, puntualidad, experiencia, retraso promedio e incidencias.

Este módulo no corresponde a un modelo predictivo ni a un algoritmo automático de inteligencia artificial. Su función es descriptiva y comparativa, ya que se fundamenta en el análisis histórico de los datos disponibles. En este sentido, el recomendador permite orientar la toma de decisiones con base en evidencia histórica, pero no reemplaza el criterio técnico de las áreas responsables de la contratación y asignación de recursos.

El valor de esta página radica en que facilita la consulta de información relevante para futuras decisiones de planeación, especialmente en actividades críticas donde el desempeño histórico del contratista puede aportar elementos importantes para reducir riesgos operativos y fortalecer el cumplimiento del cronograma.

Figura 16: Recomendador de contratistas por actividad.



Nota. Elaboración propia de módulo de apoyo a la toma de decisiones para selección de contratistas según desempeño histórico por actividad, desarrollado con información histórica de Sentinel, datos de programación de obra en Primavera P6 .

5.9. Análisis de datos provenientes de Primavera

El módulo de datos Primavera permite visualizar la información estructurada proveniente de cronogramas de obra, como complemento al análisis histórico desarrollado con la información de Sentinel.

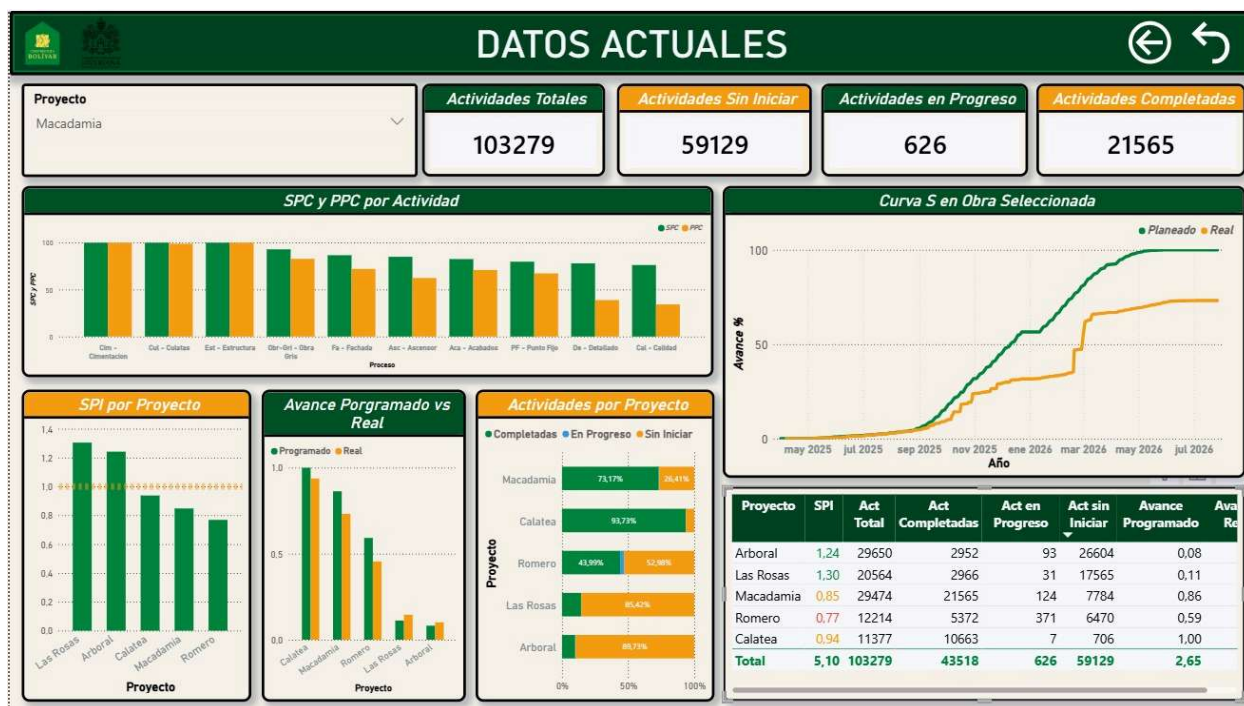
La Figura 17 presenta la visualización de datos provenientes de cronogramas de obra, con el propósito de integrar información relacionada con actividades, fechas, duraciones, relaciones de precedencia y seguimiento de ejecución.

Aunque el estudio se fundamenta principalmente en información histórica proveniente de Sentinel, la inclusión de este módulo permite evidenciar la posibilidad de adaptar la estructura analítica del modelo BI a la información actualmente gestionada por la organización en Primavera P6. Esto permite fortalecer la aplicabilidad futura del sistema, manteniendo la coherencia

metodológica entre los datos históricos analizados y las fuentes de información utilizadas actualmente en la gestión de proyectos.

Es importante precisar que esta integración no implica el desarrollo de un modelo predictivo, sino la estructuración de información programática para facilitar análisis descriptivos, comparativos y de seguimiento en futuros proyectos.

Figura 17: Visualización de datos provenientes de cronogramas de obra.



Nota. Elaboración propia de módulo de análisis y seguimiento de programación de obra desarrollado en Power BI, construido con datos de cronogramas gestionados en Primavera P6.

5.10. Análisis de capacidad operativa mediante integración de programación y registros biométricos

Con el propósito de profundizar el análisis del desempeño operativo de los contratistas, se desarrolló una sección específica dentro del tablero de Business Intelligence orientada a evaluar la capacidad operativa real de las cuadrillas de trabajo mediante la integración de información histórica de programación y registros biométricos de ingreso de personal a obra.

Este análisis fue implementado para tres proyectos de vivienda seleccionados en fase de cierre, debido a la disponibilidad de información consolidada relacionada con programación de actividades, asignación de cuadrillas y registros biométricos de ingreso de personal. La integración de estas fuentes permitió contrastar la cantidad de personal programado para la ejecución de las actividades frente al personal que efectivamente ingresó a obra durante los periodos analizados.

A partir de esta comparación, se construyeron indicadores orientados al análisis de cobertura operativa, brecha entre cuadrillas programadas y personal real, disponibilidad efectiva de recursos humanos y capacidad de atención simultánea de diferentes frentes de trabajo. Estos indicadores permitieron identificar variaciones en la capacidad operativa de los contratistas y analizar su relación con el comportamiento del cronograma y el desempeño general de ejecución de las actividades.

El análisis fue desarrollado mediante visualizaciones dinámicas en Power BI, permitiendo realizar segmentaciones por proyecto, contratista, actividad y especialidad constructiva. Asimismo, se incorporaron comparativos entre personal programado y personal real promedio, facilitando la identificación de contratistas con limitaciones recurrentes de disponibilidad de mano de obra frente a las necesidades operativas definidas en la programación.

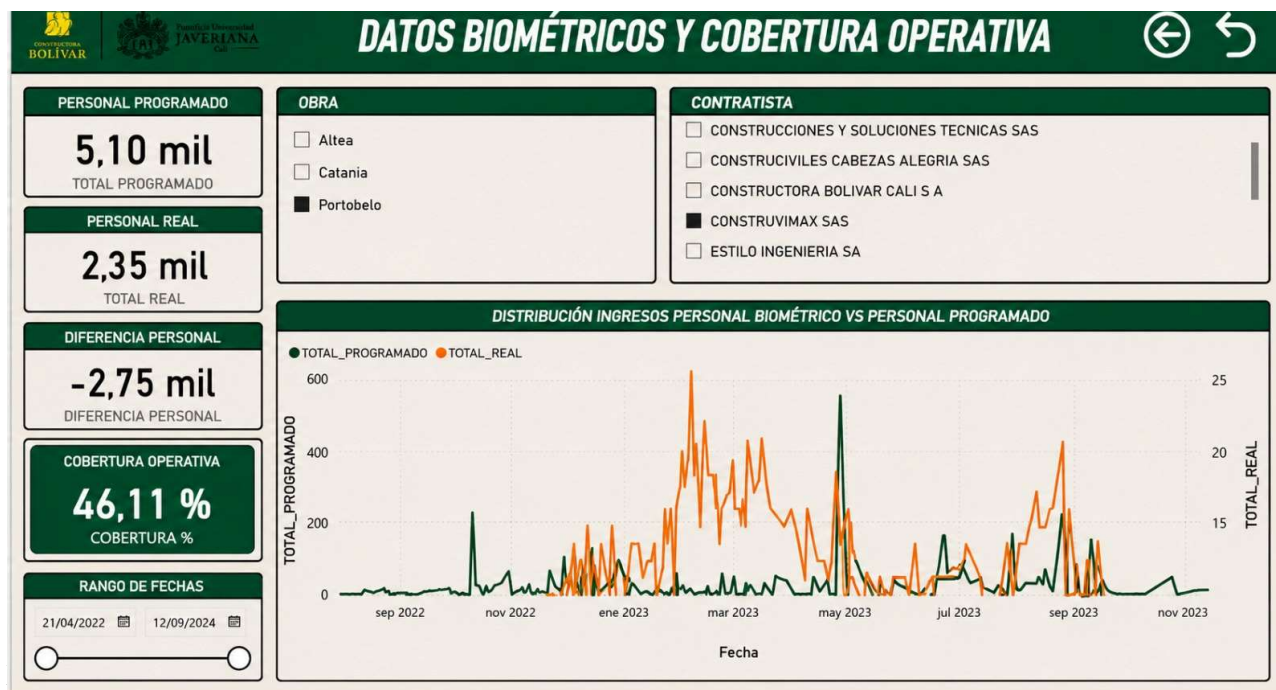
Desde el punto de vista analítico, esta integración representa uno de los principales aportes metodológicos del estudio, debido a que permite complementar el análisis tradicional de cronogramas con información operativa real proveniente de registros biométricos. De esta manera, el tablero no solo permite evaluar el comportamiento histórico del cumplimiento de actividades, sino también analizar la capacidad operativa efectiva de los contratistas para responder a las exigencias de ejecución de proyectos de vivienda.

La Figura 18 presenta el módulo de análisis de cobertura operativa correspondiente al proyecto Portobelo, desarrollado para comparar el personal programado frente al personal realmente registrado en obra mediante controles biométricos. La visualización permite identificar el comportamiento histórico de los contratistas y analizar la capacidad operativa real disponible para la ejecución de las actividades programadas.

En este caso, el tablero evidencia un total programado acumulado de 5,10 mil registros de personal frente a 2,35 mil ingresos biométricos reales, generando una diferencia aproximada de - 2,75 mil registros y una cobertura operativa del 46,11 %. Estos valores corresponden a la suma acumulada del personal programado a lo largo del periodo analizado de obra, calculada a partir de las cuadrillas definidas para cada actividad (oficiales y ayudantes) y de la cantidad de actividades programadas diariamente por contratista, comparadas frente al personal que efectivamente ingresó a la obra en cada jornada según los registros biométricos.

Adicionalmente, la gráfica histórica permite observar variaciones recurrentes entre el personal requerido y el personal disponible en obra, facilitando el análisis de posibles limitaciones operativas del contratista analizado correspondiente actividades de acabados y su relación con el comportamiento del cronograma y la ejecución de las actividades programadas.

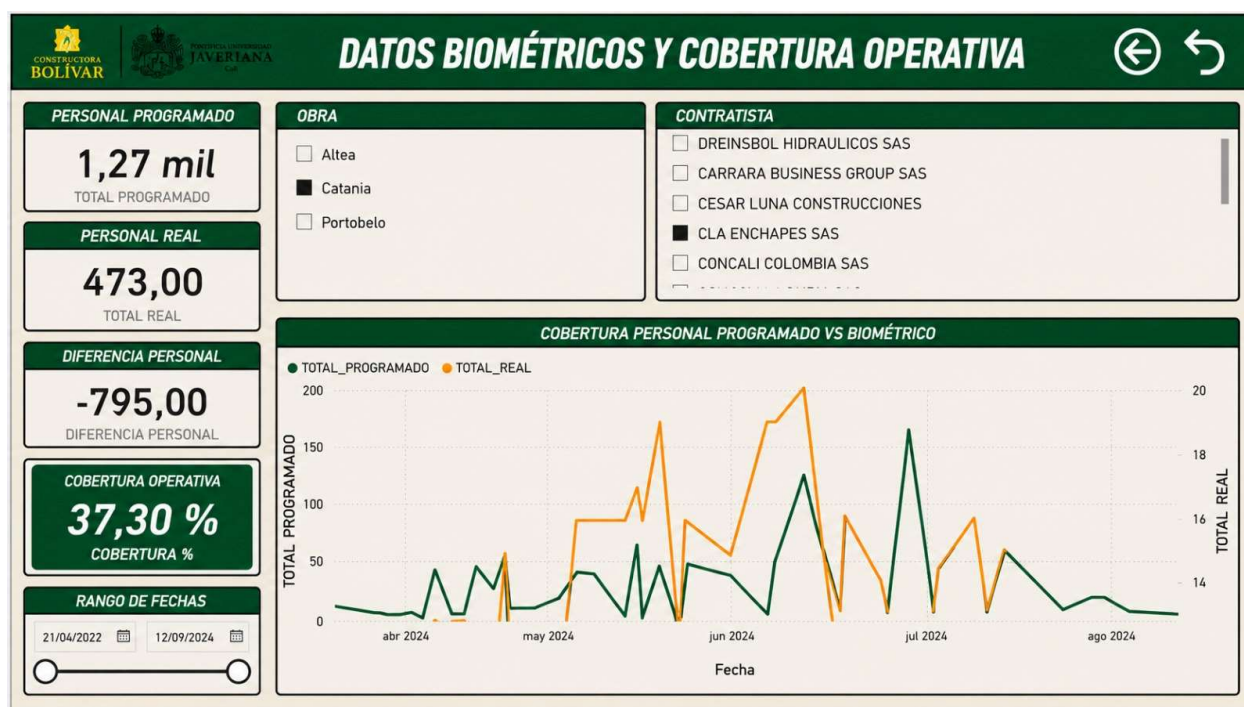
Figura 18: Análisis de cobertura operativa - Obra Portobelo.



La Figura 19 presenta el módulo de análisis de cobertura operativa correspondiente al proyecto Catania, en el cual se comparan los registros de personal programado frente al personal que efectivamente ingresó a obra durante el periodo analizado. Para este proyecto, el tablero evidencia un total programado acumulado de 1,27 mil registros de personal y un total real de 473 ingresos biométricos, generando una diferencia aproximada de -795 registros y una cobertura operativa del 37,30 %.

La visualización presentada corresponde específicamente al contratista CLA Enchapes SAS, permitiendo observar el comportamiento histórico de los ingresos biométricos frente al personal requerido para la ejecución de las actividades programadas.

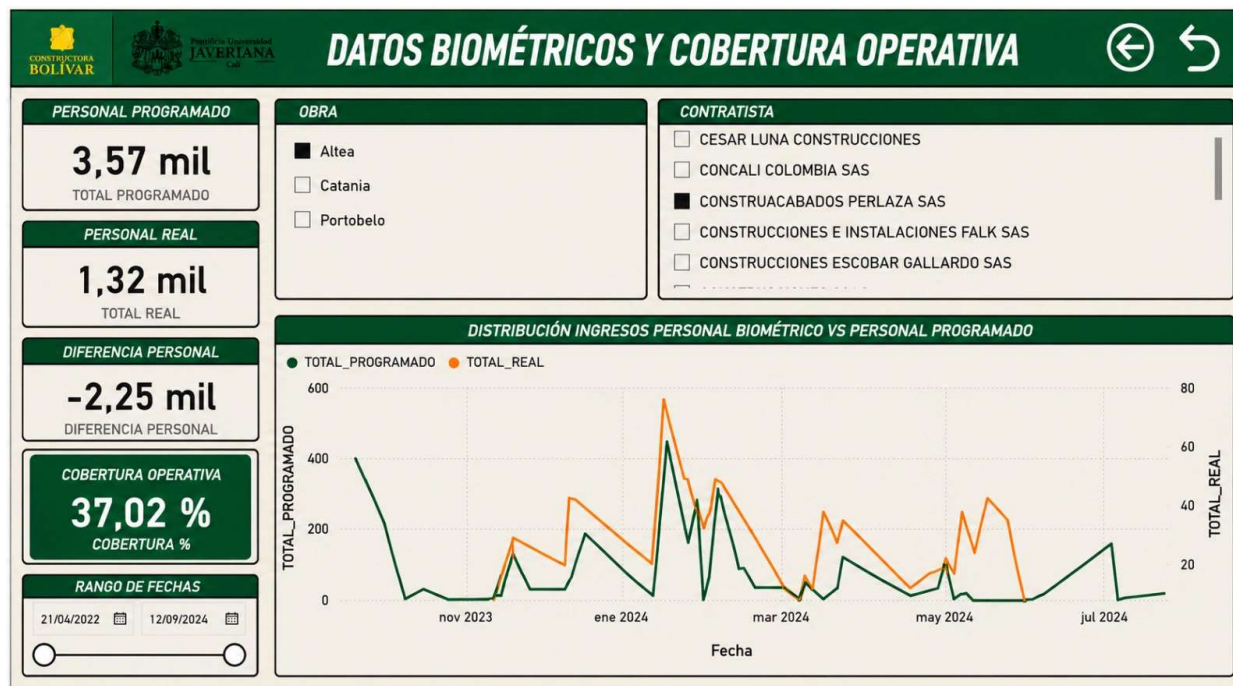
Figura 19: Análisis de cobertura operativa - Obra Catania.



Nota. Elaboración propia a partir de información histórica y registros biométricos de ingreso de personal.

La Figura 20 presenta el módulo de análisis de cobertura operativa correspondiente al proyecto Altea, específicamente para el contratista Construcabados Perlaza SAS. En el periodo analizado, el tablero registra un total acumulado de 3,57 mil personas programadas frente a 1,32 mil ingresos biométricos reales, generando una diferencia aproximada de -2,25 mil registros y una cobertura operativa del 37,02 %

Figura 20: Análisis de cobertura operativa – Obra Altea



Nota. Elaboración propia a partir de información histórica y registros biométricos de ingreso de personal.

5.11. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos a partir del sistema de Business Intelligence evidencian que el desempeño de los contratistas puede analizarse de manera más objetiva cuando se integran variables relacionadas con cumplimiento, puntualidad, capacidad operativa, experiencia, concurrencia de obras e incidencias. La consolidación de estas variables dentro de una única herramienta visual permitió realizar análisis comparativos entre contratistas, actividades y proyectos, facilitando una lectura integral del comportamiento operativo.

Uno de los principales hallazgos del análisis corresponde a que el cumplimiento de actividades no debe evaluarse de manera aislada. Durante el desarrollo del estudio se identificaron casos en los que algunos contratistas presentaban altos niveles de cumplimiento general, pero

simultáneamente registraban bajos niveles de puntualidad, retrasos promedio significativos o alta concurrencia de obras. Esto evidenció la necesidad de complementar los indicadores tradicionales de avance con variables operativas que permitan interpretar de manera más precisa el desempeño real de ejecución.

Asimismo, el análisis de curvas S permitió identificar desviaciones entre el avance planificado y el avance ejecutado, facilitando la visualización temporal del comportamiento del cronograma y la identificación de periodos críticos dentro de los proyectos analizados. De igual manera, la integración de registros biométricos permitió contrastar el personal programado frente al personal realmente presente en obra, aportando una lectura adicional sobre la capacidad operativa efectiva de los contratistas.

Por otra parte, el análisis de incidencias evidenció que las desviaciones del cronograma no siempre se originan exclusivamente en el desempeño del contratista, sino también en factores asociados a coordinación entre actividades, supervisión, logística, disponibilidad de materiales y condiciones operativas propias de cada proyecto. En este sentido, el registro de incidencias permitió contextualizar el comportamiento observado y complementar la interpretación de los resultados obtenidos.

En conjunto, los resultados permitieron evidenciar la utilidad del análisis integrado de variables operativas, programáticas y de desempeño para fortalecer la interpretación del comportamiento de los contratistas dentro de proyectos de vivienda.

6 . CONCLUSIONES

La investigación permitió desarrollar un sistema de Business Intelligence orientado al análisis del desempeño operativo de contratistas en proyectos de vivienda, integrando información histórica proveniente de programación, seguimiento de actividades, incidencias y registros biométricos. La implementación del modelo permitió consolidar múltiples fuentes de información dentro de una herramienta visual orientada al análisis comparativo y al soporte de decisiones operativas.

Uno de los principales hallazgos del estudio corresponde a que la efectividad de los sistemas analíticos no depende únicamente del diseño de los dashboards o de la cantidad de indicadores construidos, sino principalmente de la calidad, consistencia y trazabilidad de la información utilizada. Durante el proceso de integración de datos se identificaron diferencias en nomenclatura de actividades, inconsistencias en registros históricos y ausencia de criterios homogéneos de captura de información entre proyectos, lo cual representó una de las principales limitaciones para el desarrollo del análisis.

Asimismo, se evidenció que las desviaciones del cronograma no responden únicamente al desempeño individual de los contratistas, sino también a múltiples condiciones operativas relacionadas con coordinación de actividades, disponibilidad de recursos, supervisión y logística de obra. Esto permitió concluir que el análisis del desempeño operativo requiere enfoques integrales que relacionen variables técnicas, operativas y organizacionales.

La incorporación de información biométrica permitió ampliar el alcance analítico del modelo, facilitando la comparación entre las cuadrillas programadas y el personal realmente presente en obra. Esta integración permitió identificar déficits de cobertura operativa y complementar el análisis tradicional de programación y seguimiento de actividades.

De igual manera, el estudio permitió evidenciar la importancia de fortalecer los procesos de captura, validación y estandarización de información dentro de la organización, especialmente considerando que Oracle Primavera P6 constituye actualmente la principal herramienta de programación y seguimiento de obra, mientras que Sentinel se mantiene como fuente histórica para análisis retrospectivos y comparativos.

Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que las herramientas de Business Intelligence pueden contribuir a transformar información histórica dispersa en un sistema estructurado de análisis, facilitando la interpretación del desempeño operativo de los contratistas y fortaleciendo el soporte analítico para la gestión y control de proyectos de construcción.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmad, M. O., Markkula, J., & Oivo, M. (2013). Kanban in software development: A systematic literature review. *International Conference on Software Engineering and Advanced Applications*, 9–16.

Anderson, D. J. (2010). *Kanban: Successful evolutionary change for your technology business*. Blue Hole Press.

Ballard, G. (2000). *The last planner system of production control* (Doctoral dissertation). University of Birmingham.

Bello, D. M. M. (2018). *Indicadores de gestión en la construcción* [Documento]. Universidad Militar Nueva Granada.
<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/65b32465-91b7-40c0-b51e-d44512702f3e/content>

Caicedo Reyes, J. C., & Melo Cortés, L. F. (2019). *Desarrollo de un tablero de control para la medición del desempeño de proyectos ejecutados por contrato de obra pública en Colombia* [Tesis]. Escuela Colombiana de Ingeniería.
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/entities/publication/75dbff93-b886-491e-825d-cf6265ca3d44>

Castelblanco Bolívar, G. (2013). Ponderación de los factores críticos que afectan el desempeño de la programación en la construcción de proyectos de vivienda de interés social en Colombia - caso Bogotá. Disponible en: <https://hdl.handle.net/1992/12043>

Curto Díaz, J. (2012). *Introducción al business intelligence*. Editorial UOC.

Dresner, H. (1989). *Business intelligence: The insights you need from data to drive business performance*. Gartner Group.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* (2nd ed.). Wiley.

Few, S. (2006). *Information dashboard design: The effective visual communication of data*. O'Reilly Media.

Kerzner, H. (2017). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (12th ed.). Wiley.

Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford University.

Love, P. E. D., Teo, P., Morrison, J., & Grove, M. (2016). Quality of information in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(10), 1–8. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001160](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001160)

López Paredes, A. (2015). *Dirección y gestión de proyectos*. Ra-Ma Editorial.

O'Brien, J. J., & Plotnick, F. L. (2010). *CPM in construction management* (8th ed.). McGraw-Hill.

Parmenter, D. (2015). *Indicadores clave de desempeño (KPI): Desarrollo, implementación y uso* (3ª ed.). Wiley.

Peña, A. (2014). *Business intelligence: Una guía práctica*. Alfaomega.

Peña Murillo, R. F., Guevara Freire, D. A., & Valencia Murillo, C. T. (2025). Indicadores de desempeño para proyectos de construcción. *Polo del Conocimiento*, 10. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/8936>

Pérez, J. (2010). *Indicadores de gestión y cuadro de mando*. ESIC Editorial.

Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)* (7th ed.). Project Management Institute. <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok>

Project Management Institute. (2021). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®)* (7ª ed.). PMI.

Salazar, J. S. A. (2025). *Diseño y construcción de un dashboard para el control y seguimiento de proyectos de construcción* [Tesis de maestría]. Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/4210e5aa-9609-48eb-85b2-505a95fdc97e/content>

Sepúlveda, S. (2024). *Seguimiento de proyectos de construcción de vivienda mediante el uso de indicadores de control en actividades claves* [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana Cali]. <http://hdl.handle.net/11522/4289>

Sharda, R., Delen, D., & Turban, E. (2014). *Business intelligence and analytics: Systems for decision support* (10th ed.). Pearson.

Tezel, A., Koskela, L., & Tzortzopoulos, P. (2016). Visual management in construction: Study report. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(5), 1–10.

Turban, E., Sharda, R., Delen, D., & King, D. (2011). *Business intelligence: A managerial approach* (2nd ed.). Pearson.

Vargas Moncada, A. K., Ramírez Díaz, D. C., Osorio Vera, J. S., Machuca López, N. J., & Alvear Ramírez, R. (2020). *Gerencia de proyectos de infraestructura pública con PMI y BIM* [Trabajo de investigación]. Universidad EAN. <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/0b3194c1-1fe8-4c56-b588-8601e154bfa9/content>

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2020). *Indicadores económicos alrededor de la construcción (IEAC)*. DANE. <https://www.dane.gov.co/>

8. ANEXOS

A. Cuestionario Para Focus Group / Entrevistas

Dirigido a Residente de Obra y Director de Obra

Objetivo del instrumento

Identificar las necesidades de información, indicadores clave y preferencias de visualización de los residentes / directores de obra para el seguimiento y control de cronogramas, con el fin de definir los parámetros más relevantes a incorporar en un tablero de control basado en inteligencia de negocios (BI).

1. Información general

1. ¿Cuál es su cargo específico en el proyecto y cuáles son sus principales responsabilidades, especialmente frente a la gestión de contratistas?

2. ¿Cuántos proyectos ha gestionado simultáneamente y cómo ha impactado esto el seguimiento y control de los contratistas?

2. Seguimiento actual del cronograma (enfocado a contratistas)

3. ¿Qué herramientas utiliza actualmente para hacer seguimiento al cronograma y al desempeño de los contratistas? ¿Por qué?

4. ¿Cómo realiza el seguimiento al avance de los contratistas en el día a día o semanalmente?

5. Desde su experiencia, ¿cuáles son las principales dificultades que ha tenido en el control del cronograma relacionadas con el desempeño de los contratistas?

3. Información clave para la gestión diaria

6. ¿Qué tipo de información sobre los contratistas considera indispensable para gestionar adecuadamente el proyecto en el día a día?

7. ¿Qué nivel de detalle de la información sobre los contratistas le resulta más útil para el seguimiento en obra y por qué?

4. Indicadores clave de desempeño (KPI)

Indicadores actuales

8. ¿Qué indicadores utiliza actualmente para evaluar el cumplimiento de los contratistas dentro del cronograma?

Indicadores relevantes

9. ¿Qué indicadores considera más relevantes para evaluar el cumplimiento de los contratistas dentro del cronograma? ¿Por qué?

Indicadores para toma de decisiones

10. ¿Qué indicadores o tipo de información le facilitan tomar decisiones correctivas frente al desempeño de un contratista? Explique cómo los utiliza en la práctica.

5. Alertas tempranas

11. En su experiencia, ¿qué situaciones relacionadas con contratistas deberían generar alertas tempranas en el proyecto?

12. ¿Qué tipo de alertas considera más importantes para anticiparse a incumplimientos de los contratistas?

13. ¿Con cuánta anticipación considera útil recibir estas alertas y por qué?

6. Visualización del tablero

14. ¿Cómo le gustaría visualizar la información relacionada con el desempeño de los contratistas para facilitar el seguimiento en obra?

15.¿Qué tipo de filtros considera necesarios para analizar la información de los contratistas?

(Ej: por contratista, actividad, frente, tiempo, etc.)

7. Uso práctico del tablero BI

16. ¿En qué momentos considera que un tablero de control sería más útil para gestionar el desempeño de los contratistas?

17.¿Cómo cree que un tablero BI podría mejorar su desempeño en el control y seguimiento de los contratistas en obra?

8. Comentarios finales

18. Desde su experiencia en obra, ¿qué información adicional considera importante incluir en el tablero para mejorar la gestión de contratistas y el control del cronograma?

B. Cuestionario Para Focus Group / Entrevistas

Dirigido a Coordinador de Negociaciones

Objetivo del instrumento

Identificar las necesidades de información, indicadores clave y criterios de control utilizados por los responsables de la asignación y seguimiento de contratos de obra, con el fin de definir los parámetros más relevantes que debe incorporar un tablero de control basado en inteligencia de negocios (BI) para apoyar la toma de decisiones contractuales y el cumplimiento del cronograma.

1. Información general

1. ¿Cuál es su cargo actual y cuáles son sus principales responsabilidades dentro del proceso de gestión y contratación de contratistas?

2. ¿Cuántos contratos administra simultáneamente y cómo influye esto en el seguimiento y control del desempeño de los contratistas?

2. Proceso actual de asignación de contratos

3. ¿Qué criterios tiene en cuenta al momento de asignar un contrato a un contratista? ¿Por qué considera importantes estos criterios?

4. ¿Qué tipo de información relacionada con los contratistas le resulta más difícil de obtener al momento de adjudicar un contrato?

3. Seguimiento y control de contratos

5. ¿Cómo realiza actualmente el seguimiento al cumplimiento de los contratistas durante la ejecución de los contratos?

6. ¿Cómo y con qué frecuencia evalúa el desempeño de los contratistas?

7. Desde su experiencia, ¿cuáles son las principales causas de incumplimiento de los contratistas que ha identificado con mayor frecuencia?

4. Indicadores clave de desempeño (KPI) de contratistas

Indicadores actuales

8. ¿Qué indicadores utiliza actualmente para evaluar el cumplimiento de los contratistas dentro del cronograma?

Indicadores relevantes

9. ¿Qué indicadores considera más relevantes para evaluar el cumplimiento de los contratistas dentro del cronograma? ¿Por qué?

Indicadores para toma de decisiones

10. ¿Qué indicadores o tipo de información le facilitan tomar decisiones correctivas frente al desempeño de un contratista? Explique cómo los utiliza en la práctica.

5. Relación contrato – cronograma

11. Desde su experiencia, ¿cómo influye la gestión de los contratistas en el cumplimiento del cronograma del proyecto?

12. ¿Qué tipo de información integrada entre contratos y cronograma considera más valiosa para hacer seguimiento al desempeño de los contratistas?

6. Alertas y control preventivo

13. ¿En qué situaciones relacionadas con el desempeño de los contratistas considera que deberían generarse alertas tempranas?

14. ¿Qué tipo de alertas le ayudarían a anticiparse a posibles incumplimientos de los contratistas?

15. ¿Con cuánta anticipación considera ideal recibir este tipo de alertas y por qué?

7. Visualización del tablero BI

16. ¿Cómo le gustaría visualizar la información del desempeño de los contratistas para facilitar su análisis y toma de decisiones?

8. Uso del tablero en la toma de decisiones

17. ¿En qué momentos del proceso considera que un tablero BI sería más útil para la gestión de contratistas?

18. ¿Cómo cree que un tablero BI podría mejorar el proceso de selección, seguimiento y control de los contratistas?

9. Comentarios finales

19. Desde su experiencia, ¿qué información adicional considera clave incluir en un tablero de control para mejorar la gestión de contratistas?

C. Cuestionario Para Focus Group / Entrevistas

Dirigido a Director de Construcciones

Objetivo del instrumento

Identificar las necesidades de información, seguimiento y control utilizadas por los Coordinadores de Proyectos durante la ejecución de obra, con el fin de definir los parámetros, indicadores y funcionalidades que debe incorporar un tablero de control basado en inteligencia de negocios (BI), que permita mejorar la coordinación del proyecto, el cumplimiento del cronograma y la toma de decisiones oportunas.

1. Información general

1. ¿Cuántos proyectos o frentes de obra coordina simultáneamente y cómo impacta esto la gestión de los contratistas?

2. Desde su rol, ¿qué nivel de participación tiene en la selección, seguimiento y evaluación de contratistas?

2. Rol del contratista en la ejecución del proyecto

3. Desde su experiencia, ¿qué tan determinante es el desempeño de los contratistas en el cumplimiento del cronograma del proyecto?

4. ¿Cuáles considera que son los principales riesgos asociados a una inadecuada gestión de contratistas?

3. Seguimiento y control de contratistas

5. ¿Cómo realiza actualmente el seguimiento al desempeño de los contratistas en los proyectos que coordina?

6. ¿Qué tipo de información utiliza para evaluar si un contratista está cumpliendo con lo esperado?

7. ¿Con qué frecuencia analiza el desempeño de los contratistas y en qué momentos del proyecto lo hace?

4. Coordinación entre contratistas

8. ¿Cuáles son las principales dificultades que ha identificado en la coordinación entre diferentes contratistas en obra?

9. ¿Cómo afectan estos problemas de coordinación el avance del proyecto?

10. ¿Qué tipo de información le permitiría anticipar conflictos entre contratistas o interferencias en obra?

5. Evaluación del desempeño de contratistas

11. ¿Qué variables considera más importantes para evaluar el desempeño de un contratista? ¿Por qué?

12. ¿Cómo identifica actualmente a los contratistas que representan un mayor riesgo para el proyecto?

13. ¿Qué tipo de información le ayudaría a tomar decisiones más acertadas frente a la continuidad o reemplazo de un contratista?

6. Relación contratistas – cronograma

14. ¿Cómo analiza el impacto del desempeño de los contratistas sobre el cronograma del proyecto?

15. ¿Qué información considera clave para entender cómo un contratista puede afectar la ruta crítica?

7. Indicadores clave de desempeño (KPI)

Indicadores actuales

16. ¿Qué indicadores utiliza actualmente para evaluar el cumplimiento de los contratistas dentro del cronograma?

Indicadores relevantes

17. ¿Qué indicadores considera más relevantes para evaluar el cumplimiento de los contratistas dentro del cronograma? ¿Por qué?

Indicadores para toma de decisiones

18. ¿Qué indicadores o tipo de información le facilitan tomar decisiones correctivas frente al desempeño de un contratista? Explique cómo los utiliza en la práctica.

8. Alertas y gestión preventiva

19. ¿Qué situaciones relacionadas con contratistas deberían generar alertas tempranas en el proyecto?

20. ¿Qué tipo de alertas le ayudarían a actuar de manera preventiva frente a posibles incumplimientos?

21. ¿Con cuánta anticipación considera ideal recibir estas alertas y por qué?

9. Visualización de la información

22. ¿Cómo le gustaría visualizar la información relacionada con el desempeño de los contratistas para facilitar su análisis?

23. ¿Qué tipo de comparaciones considera útiles (por ejemplo, entre contratistas, entre proyectos, entre periodos de tiempo)?

10. Uso del tablero BI en la toma de decisiones

24. ¿Qué tipo de decisiones relacionadas con contratistas considera que podría mejorar con el uso de un tablero BI?

25. ¿Cómo cree que un tablero BI podría fortalecer la gestión y coordinación de los contratistas en obra?

11. Comentarios finales

26. Desde su experiencia, ¿qué información adicional considera clave incluir en un tablero de control para mejorar la gestión de contratistas?
