



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

ESTRUCTURACIÓN DE UN MODELO DIGITAL BASADO EN BIM 4D E IA PARA LA
GESTIÓN DEL AVANCE EN OBRAS DE CONSTRUCCIONES CIVILES.

BERMUDEZ PINO JHON JAIRO

MIÑO MORA JUAN DAVID

SANTACRUZ GUERRERO CRISTHIAN DANILO

DIRIGIDO POR

MSC. PABLO ALEJANDRO ZUÑIGA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI

FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

SANTIAGO DE CALI

MAYO DE 2026

CONTENIDO

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION.....	11
1.1.	Introducción	11
1.2.	Definición del problema de investigación	12
1.2.1.	Planteamiento del problema.....	12
1.2.2.	Pregunta de investigación.....	14
1.3.	Objetivos	14
1.3.1.	Objetivo general.....	14
1.3.2.	Objetivos específicos	14
1.4.	Justificación	14
1.4.1.	Alcances y limitaciones.....	15
2.	MARCO TEÓRICO.....	17
2.1.	Gestión de proyectos de construcción de obras civiles.....	17
2.1.1.	Origen Del Seguimiento Y Control De Obras	17
2.1.2.	Control del Avance Físico de Obras	17
2.1.3.	Definición de los KPIs en la Construcción	18
2.1.4.	Métodos Tradicionales de Seguimiento en Obra.....	19
2.1.5.	Limitaciones de Sistemas Manuales y Reportes Convencionales	19
2.2.	Transformación Digital en la Industria de la Construcción	19
2.2.1.	Tecnologías Emergentes en Gestión de Proyectos de Construcción	20

2.2.2.	Integración de Datos y Ecosistemas Digitales en Obra.....	21
2.3.	Building Information Modeling (BIM).....	22
2.3.1.	Concepto y evolución del BIM	24
2.3.2.	Dimensiones del BIM	25
2.3.3.	Beneficios del BIM en la gestión de proyectos de construcción	26
2.3.4.	BIM 4D.....	27
2.4.	Inteligencia Artificial aplicada a la gestión de proyectos de obras civiles	30
2.4.1.	Concepto y evolución de la Inteligencia Artificial	31
2.4.2.	Aplicaciones de IA en la industria de la construcción	32
2.4.3.	IA para captura y procesamiento de datos en obra	33
2.4.4.	Chatbot y automatización de flujos de información	34
2.5.	Visualización de datos de obra en medios digitales.....	35
2.5.1.	Herramientas de análisis y visualización de datos	36
2.5.2.	Aplicación de dashboards en la gestión de obras	37
2.5.3.	Uso de Power BI para el avance de obra	37
2.6.	Modelo Digital de Gestión de Avance (MDGA)	39
2.6.1.	Integración de tecnologías para la gestión del avance	40
2.6.2.	Flujo digital de información desde obra	41
2.6.3.	Indicadores de desempeño para el control del avance	42
2.6.4.	Integración del modelo digital de gestión de avance en Power BI	43

3.	Metodología DE INVESTIGACIÓN.....	45
3.1.	Recopilación de la información para base de datos	46
3.1.1.	Definición de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT).....	47
3.1.2.	Estructuración del cronograma de trabajo.....	49
3.2.	Estructuración del modelo BIM 4D	50
3.2.1.	Creación modelado 3D.....	51
3.2.2.	Integración de dimensión 4D	54
3.3.	Configuración e integración del componente de procesamiento del lenguaje natural 57	
3.3.1.	Definición de herramienta para desarrollo de Chatbot:	57
3.3.2.	Estructuración y configuración del flujo de trabajo	59
3.3.3.	Power BI	63
3.4.	Lógica del proceso del reporte.....	66
4.	Resultados	69
4.1.1.	Impacto de la EDT en la organización del modelo.....	69
4.1.2.	El cronograma como eje de la cuarta dimensión.....	70
4.2.	Estructuración del modelo BIM 4D.....	70
4.2.1.	Consolidación del ecosistema de datos de interoperabilidad	70
4.2.2.	Validación en entorno controlado	71
4.2.3.	Escalabilidad y replicabilidad del modelo piloto	71

4.3.	Implementación de la infraestructura de datos con Speckle	72
4.3.1.	Eficiencia en la extracción.....	72
4.3.2.	Habilitación de consultas en tiempo real mediante API.....	72
4.4.	Operatividad lógica y gestión del ecosistema MDGA en N8N	74
4.4.1.	Arquitectura de interoperabilidad y seguridad de datos	74
4.4.2.	Inteligencia Artificial y Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP)	74
4.4.3.	Cálculo Automático de Indicadores (KPIs) y sincronización del ecosistema.....	75
4.5.	Inteligencia de datos y visualización gerencial en Power BI.....	76
4.5.1.	Interoperabilidad y sincronización del modelo 4D.....	76
4.5.2.	Análisis de Indicadores de Rendimiento (KPIs)	77
4.5.3.	Interactividad cruzada y actualización del ecosistema.....	78
4.5.4.	Eficacia de la lógica transaccional y retroalimentación de campo	78
4.6.	Operatividad de la interfaz conversacional del Chatbot	80
5.	CONCLUSIONES	85
6.	LIMITACIONES	87
7.	RECOMENDACIONES.....	89
8.	Referencias bibliograficas.....	91

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 - Capítulos Del Proyecto.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 2 - Cronograma por capítulos</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 3 - Diagrama del flujo de trabajo</i>	<i>63</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Modelo de niveles BIM.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2 - Aplicaciones del BIM 4D.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3 - Representación de interfaz de tablero Power BI.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4 - Estructura de fases del proyecto.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 5- Estructura de desglose de trabajo (EDT).....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 6- Parámetro específico por elemento de modelado 3D</i>	<i>52</i>
<i>Figura 7 - Modelado 3d en Revit.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 8 - Vinculación modelo 3d y Speckle</i>	<i>57</i>
<i>Figura 9 - Workflow en N8N.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 10 - Vinculación modelo 3d y Speckle</i>	<i>73</i>
<i>Figura 11 - Vinculación Power Bi y Speckle</i>	<i>76</i>
<i>Figura 12-Vinculación de indicadores en Power BI.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 13 - Ventana de mensajería en N8N.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 14 - Ventana de mensajería en N8N.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 15 - Ventana de mensajería en N8N.....</i>	<i>83</i>

LISTA DE ABREVIATURAS

BIM 4D – Building Information Modeling 4D. Metodología que integra el modelo digital tridimensional con la dimensión del tiempo para simular la secuencia constructiva del proyecto.

MDGA – Modelo Digital de Gestión de Avance. Ecosistema digital propuesto que integra la captura de datos conversacional con inteligencia artificial y visualización dinámica en Power BI.

NLP – Natural Language Processing. Procesamiento de Lenguaje Natural. Protocolo de inteligencia artificial que permite a la interfaz conversacional interpretar el lenguaje humano de los reportes en campo.

KPIs – Key Performance Indicators. Indicadores Clave de Desempeño. Unidades de medida analíticas utilizadas en el tablero gerencial para evaluar la eficiencia de la obra.

Speckle – Plataforma de interoperabilidad de código abierto que funciona como infraestructura de datos para renderizar y actualizar el modelo tridimensional dinámicamente en Power BI.

CDE – Common Data Environment. Entorno Común de Datos. Espacio centralizado donde la información fluye sin fricciones entre la oficina técnica y el personal en el frente de obra.

EDT – Estructura de Desglose del Trabajo. Descomposición jerárquica del alcance del proyecto que organiza las actividades y sirve como eje de indexación para el modelo 4D.

BIM 3D – Modelado Tridimensional Paramétrico. Representación geométrica digital de los elementos constructivos que incorpora atributos técnicos y materiales del hangar.

BIM 4D – Building Information Modeling 4D. Metodología que integra el modelo geométrico 3D con el cronograma de obra (dimensión tiempo) para simular la secuencia constructiva.

CPM – Critical Path Method. Método de la Ruta Crítica. Metodología de planificación matemática utilizada para determinar la secuencia lógica y las actividades restrictivas del cronograma.

IA – Inteligencia Artificial. Motor analítico global encargado de automatizar el procesamiento de lenguaje natural y estructurar los datos reportados desde el campo.

Chatbot – Asistente de información automática. Interfaz conversacional que permite a los operarios reportar el avance físico mediante mensajes de texto o voz eliminando planillas manuales.

Usuario – Perfil operativo o gerencial (ej. Arquitecto) que interactúa con el Chatbot, validado mediante su nombre y rol para garantizar la seguridad del reporte.

Agente – Entidad lógica del Chatbot configurada para guiar el flujo de la conversación, exigir parámetros obligatorios y confirmar las actualizaciones del sistema.

ID de Actividad – Identificador numérico paramétrico asignado a cada tarea de la EDT para asegurar que el Chatbot actualice el registro exacto en la base de datos.

n8n – Plataforma de automatización de flujos de trabajo basada en nodos que gestiona la operatividad lógica y conecta el Chatbot con el motor de base de datos.

API – Application Programming Interface. Interfaz de Programación de Aplicaciones. Protocolo informático que habilita las consultas y la transferencia de datos en tiempo real entre los sistemas del ecosistema.

CNN – Redes Neuronales Convolucionales. Algoritmos de visión artificial aplicados en construcción para identificar elementos instalados y patrones físicos a partir de imágenes o videos.

Power BI – Plataforma de Business Intelligence de Microsoft utilizada para centralizar datos, calcular indicadores paramétricos y renderizar dashboards dinámicos.

Dashboard – Tablero de control gerencial interactivo compuesto por capas de visualización, gráficos analíticos y el modelo 3D para monitorear el estado del proyecto.

EVM – Earned Value Management. Gestión del Valor Ganado. Metodología de control cíclico adoptada para integrar de forma estadística el alcance, el cronograma y el costo del proyecto.

SPI – Schedule Performance Index (Índice de Desempeño del Cronograma). Indicador matemático que calcula la eficiencia del tiempo comparando el avance físico real frente al programado.

JSON /JavaScript - Object Notation. Formato ligero de intercambio de datos estructurados basado en texto, utilizado por las APIs del ecosistema para transferir el avance de obra hacia la base de datos.

Webhook – Mecanismo automatizado de comunicación HTTP basado en eventos que dispara una notificación inmediata desde el Chatbot hacia n8n al registrar una actualización física.

Data Lake / Data Warehouse – Arquitectura de almacenamiento centralizada encargada de recopilar los metadatos complejos y el registro transaccional histórico de las actividades de construcción

As-Built – Planos o modelos digitales de registro final que reflejan con exactitud las dimensiones, geometrías y modificaciones técnicas reales ejecutadas en campo frente al diseño original.

Schedule Variance (SV) – Variación de Cronograma. Diferencia cuantitativa entre el avance físico real y el programado expresada en términos monetarios o porcentuales.

LLM – Large Language Model (Modelo de Lenguaje Grande). Modelo de aprendizaje profundo entrenado con millones de parámetros textuales, base del motor de IA que opera la interfaz del Chatbot.

Feedback Loop – Bucle de retroalimentación continuo y automatizado. Proceso donde el dato de campo actualiza instantáneamente la base de datos, alterando los gráficos de Power BI en tiempo casi real.

Token – Unidad mínima de procesamiento de texto (palabra o fragmento de carácter) en la cual el motor de NLP descompone el reporte del usuario para extraer variables y comandos de control.

Interoperabilidad - La capacidad de que diferentes sistemas (Revit, Speckle, n8n) intercambien datos sin pérdida de integridad.

Intent Recognition – Reconocimiento de Intención. Capacidad del asistente virtual para clasificar la instrucción conversacional del usuario bajo un objetivo lógico determinado

Entity Extraction – Extracción de Entidades. Proceso algorítmico donde el agente de IA aísla parámetros críticos dentro de una frase, tales como el código ID y el porcentaje numérico.

HTML (HyperText Markup Language): Es el lenguaje de marcado estándar utilizado para estructurar y desplegar la información en la web.

Self-hosting -Práctica de alojar el software y los datos en servidores propios o controlados por la organización para garantizar la privacidad, soberanía y reducir costos de suscripción.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

1.1. Introducción

En la actualidad, la industria de la construcción enfrenta una paradoja digital: a pesar de su peso en la economía global, persiste una brecha crítica entre la planeación y la ejecución real en obra. Para las empresas constructoras, este desafío se agudiza por la dependencia de sistemas heredados y planillas de cálculo obsoletas. Estos métodos manuales, fragmentados y subjetivos, generan reportes con desfases temporales que impiden una toma de decisiones proactiva, comprometiendo la precisión de los Indicadores clave de desempeño (kpis) y la salud financiera de los proyectos.

La gerencia de proyectos de construcción ha experimentado una transformación profunda, impulsada por la necesidad de una mayor eficiencia en mercados cada vez más competitivos y digitalizados. En este escenario, la capacidad de una organización para alcanzar sus objetivos estratégicos depende directamente de la calidad de su sistema de control de gestión. Como eje central de este control, los indicadores clave de desempeño (kpis) surgen no solo como métricas de evaluación, sino como herramientas diagnósticas fundamentales que permiten traducir la ejecución operativa en datos cuantificables para la alta gerencia (Kerzner, 2022).

Bajo este escenario, el presente estudio tiene como objetivo principal la estructuración de un modelo digital basado en un asistente de información automática para la gestión del avance en obras de construcciones civiles. Esta investigación propone superar la ineficiencia de los flujos de datos tradicionales mediante la integración de la metodología *Building Information Modeling* (BIM) en su cuarta dimensión (tiempo) con algoritmos de Inteligencia Artificial (IA), estableciendo un *feedback loop* automatizado que sustituya la medición discreta por un monitoreo continuo y veraz.

La implementación de este modelo digital unificado no solo busca optimizar el control de recursos, sino también eliminar la doble digitación y la subjetividad en la captura de datos de campo.

Al sincronizar el avance físico real con el modelo 4D mediante IA, se garantiza una alineación rigurosa entre lo programado y lo ejecutado, transformando la gestión de obra de un proceso reactivo a uno basado en datos en tiempo real.

1.2. Definición del problema de investigación

A continuación, se presenta la definición del problema de investigación, seguido por la pregunta de investigación.

1.2.1. Planteamiento del problema

Las empresas constructoras buscan fortalecer sus gestiones mediante la optimización y el mejor control de sus recursos, enfrentando un desafío crítico, la dependencia de sistemas de seguimiento heredados, principalmente planillas de Excel con más de veinte años de antigüedad, que resultan engorrosas y obsoletas. Este método tradicional, debido a la fragmentación de la información por proyecto y la necesidad de actualizaciones manuales frecuentes, limita la precisión, agilidad y veracidad de los informes de obra, propiciando la omisión de procesos y ralentizando la toma de decisiones.

Por consiguiente, existe una necesidad imperante de implementar un modelo digital avanzado basado en BIM 4D para la gestión del avance en tiempo real que pueda superar estas deficiencias sistémicas y asegurar el cumplimiento de los objetivos de control y optimización de recursos de las empresas constructoras.

Por otra parte, el sector de la construcción civil, a pesar de su relevancia económica, enfrenta un desafío persistente en la gestión precisa y oportuna del avance en obra. Históricamente, el control de la producción se ha basado en métodos manuales y discretos, tales como informes de campo en papel, planillas de cálculo, y reportes fotográficos periódicos.

La persistencia de procesos analógicos y la dependencia de la interpretación subjetiva del personal de campo crean una brecha de información crítica entre la ejecución física y el reporte gerencial. Esta desconexión precipita una desalineación sistemática donde el cronograma original concebido como una herramienta dinámica se convierte rápidamente en un documento estático y desvinculado de la realidad (Sacks et al., 2018). Debido a que los métodos de captura tradicionales son intrínsecamente lentos y reactivos, la información llega a los niveles decisorios con un desfase de días o semanas, imposibilitando una toma de decisiones proactiva.

Esta problemática se agrava por la imprecisión en la medición del avance físico, la cual, al estar sujeta al error humano y a fallos en la transcripción, erosiona la fiabilidad de los Indicadores Clave de Desempeño (KPIs). Como consecuencia, la comunicación se fragmenta; la falta de integración automática entre la data de campo y plataformas como BIM (Building Information Modeling) o softwares de programación obliga a procesos de 'doble digitación'. Esta ineficiencia operativa no solo consume recursos técnicos valiosos, sino que anula la capacidad de establecer una 'Única Fuente de Verdad' necesaria para la Gerencia de Proyectos moderna (Bryde et al., 2013)."

Ante este panorama, surge la necesidad de un modelo digital unificado que permita la gestión del avance en tiempo real. La infraestructura tecnológica y metodológica actual no permite un feedback loop rápido y automatizado que compare el avance planificado con el avance real de manera continua.

1.2.2. Pregunta de investigación

¿De qué manera la integración de BIM 4D, IA y visualización Power BI optimiza y garantiza la gestión y el seguimiento del avance físico y la toma de decisiones en tiempo real mediante asistente de mensajería IA, en obras civiles?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un Modelo Digital de Gestión de Avance (MDGA) mediante la integración de BIM 4D, captura de datos vía IA y visualización en Power BI, para potenciar el control operativo y la toma de decisiones estratégicas en tiempo real en proyectos de obras civiles.

1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer la base de planificación digital (BIM 4D) integrando el modelo 3D con el cronograma.
- Diseñar el mecanismo de captura ágil Chatbot/IA y procesamiento de datos para transformar la información de campo en datos digitales.
- Construir el tablero de control gerencial para visualizar los kpis y verificar la funcionalidad del MGDA mediante pruebas y simulaciones de datos.

1.4. Justificación

La presente investigación se fundamenta en la necesidad de resolver la desconexión crítica entre la planeación digital y la ejecución física en el sector de la construcción. A pesar del auge de la digitalización, las empresas constructoras operan bajo un modelo de gestión fragmentado, donde la dependencia de herramientas de cálculo obsoletas y reportes manuales genera una brecha de información que compromete la viabilidad de los proyectos.

La fragmentación de los flujos de información en documentos aislados subraya la obsolescencia de los métodos heredados frente a las exigencias de la ingeniería moderna. Este enfoque atomizado obstaculiza la obtención de una analítica integral del avance físico, mientras que la captura manual de datos devora tiempo valioso de supervisión. La estructuración de un modelo basado en BIM 4D e IA surge, por tanto, como la solución técnica necesaria para eliminar estos cuellos de botella y asegurar una gestión de recursos basada en la veracidad del tiempo real.

Desde una perspectiva contextual, las empresas constructoras enfrentan un entorno de márgenes de utilidad reducidos y alta exigencia en el cumplimiento de cronogramas. La persistencia de sistemas heredados, como planillas de Excel y Word con décadas de antigüedad, no solo ralentiza la toma de decisiones, sino que introduce una subjetividad peligrosa en la medición del avance. Esta realidad operativa justifica la búsqueda de una solución que generalice el acceso a tecnologías de vanguardia, permitiendo que herramientas tecnológicas avanzadas faciliten la información en tiempo real del proyecto.

1.4.1. Alcances y limitaciones

El presente trabajo de grado tiene como alcance principal la estructuración de un ecosistema digital que vincule la precisión paramétrica del BIM 4D con la capacidad analítica de la Inteligencia Artificial, permitiendo una validación optimizada del avance físico en proyectos de construcción.

El modelo se centra en la captura de datos en campo a través de protocolos de procesamiento de lenguaje natural (NLP) integrados en un asistente inteligente (Chatbot), lo que facilita la recopilación de información técnica de forma ágil y estructurada. No obstante, la efectividad de este flujo está sujeta a la calidad de la base de datos y a la infraestructura tecnológica existente en la obra. Por tanto, el estudio se enfoca en el desarrollo metodológico y técnico de la

interoperabilidad de datos y la visualización automatizada, sin extenderse al suministro de equipos especializados, ni a la resolución de resistencia al cambio organizacional. El éxito de la propuesta radica en la veracidad técnica de la comparativa entre lo planificado y lo ejecutado mediante un flujo de información continuo y en tiempo real

Teniendo en cuenta que el trabajo de grado podría abarcar todas las dimensiones de la metodología BIM que son parte integral de un seguimiento de obra se decide limitar el alcance hasta la cuarta dimensión (tiempo), con el fin de garantizar una mejor estructuración en el flujo de la herramienta de del Chatbot, por lo tanto, de esta manera se obtiene una interpretación en los resultados más específica. Es importante precisar, que la aplicación hasta la cuarta dimensión es la continuación para seguir desarrollando las siguientes dimensiones del BIM.

2. MARCO TEÓRICO

En esta sección se introduce los conceptos teóricos que definen el enfoque del trabajo de grado, algunos de los temas tratados y las soluciones presentadas. Como parte fundamental de la presente investigación se abordará principalmente los temas de gestión de proyectos de obras civiles.

2.1. Gestión de proyectos de construcción de obras civiles

La gestión de proyectos en la ingeniería civil se define como la aplicación de conocimientos, habilidades y herramientas técnicas para cumplir con los requisitos del proyecto dentro de restricciones de tiempo, costo y calidad (Project Management Institute [PMI], 2021). En el contexto de las obras civiles, esta gestión adquiere una complejidad multidimensional debido a la incertidumbre del entorno y la diversidad de actores involucrados.

2.1.1. Origen Del Seguimiento Y Control De Obras

Históricamente, el control de obras ha evolucionado desde la supervisión empírica hacia métodos sistemáticos. El origen formal se asocia con el desarrollo de la ingeniería industrial a principios del siglo XX, destacando la introducción del Diagrama de Gantt y, posteriormente, métodos de ruta crítica como el CPM (*Critical Path Method*) y PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) en la década de 1950 (Sears et al., 2015). Estos sistemas permitieron, por primera vez, modelar la secuencia lógica de actividades y prever cuellos de botella.

2.1.2. Control del Avance Físico de Obras

El control de avance físico consiste en la medición cuantitativa y cualitativa de las unidades de obra ejecutadas frente a lo planificado. Según Méndez (2020), este proceso no solo implica verificar la culminación de tareas, sino también validar que el consumo de insumos sea

proporcional al progreso reportado. La precisión en esta etapa es vital para la determinación de actas de vecindad, pagos a subcontratistas y la proyección del flujo de caja.

2.1.3. Definición de los KPIs en la Construcción

Los Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) son unidades de medida que permiten evaluar la eficiencia y eficacia de los procesos. En la construcción, no se limitan a medir el tiempo, sino la calidad de la gestión.

De acuerdo con el PMI (2021), el seguimiento de las metas de una organización se apoya en el uso de indicadores clave de desempeño; estos integran datos de diversa índole para monitorear el cumplimiento de los resultados esperados. En el marco del MDGA, estos indicadores actúan como el puente entre la recolección de datos mediante IA y la visualización estratégica en Power BI.

Importancia en obras de construcción civil: La importancia de los KPIs radica en su capacidad para reducir la subjetividad en la toma de decisiones. Según Kerzner (2017), los KPIs son esenciales porque permiten a los gerentes de proyecto identificar desviaciones de manera temprana, facilitando acciones correctivas antes de que los impactos en costo y tiempo sean irreversibles.

En proyectos de ingeniería civil, su relevancia se centra en el control de la variabilidad que permiten estabilizar el flujo de trabajo, por otro lado, facilitan la rendición de cuentas ante inversionistas y entidades de control y existe una mejora continua donde se identifican patrones de bajo rendimiento en cuadrillas o procesos constructivos específicos.

Aplicación y temporalidad de los KPIs: Los KPIs deben ser utilizados de manera cíclica. De acuerdo con Fleming y Koppelman (2016), el control de rendimiento mediante el (EVM)

gestión del valor ganado debe realizarse periódicamente; semanal o quincenal, para que los datos tengan validez estadística y permitan realizar proyecciones confiables hacia el final de la obra.

2.1.4. Métodos Tradicionales de Seguimiento en Obra

Los métodos convencionales se han basado predominantemente en el registro manual y la observación directa. Las herramientas estándar incluyen bitácoras de obra lo cual son registros narrativos de sucesos diarios que acontecen en obra, planillas de cálculo en Excel, que son utilizadas para la consolidación de datos recolectados en campo así mismo los reportes fotográficos, donde se encuentra la evidencia visual que carece de vinculación paramétrica con el cronograma.

2.1.5. Limitaciones de Sistemas Manuales y Reportes Convencionales

La literatura científica identifica una "brecha de información" crítica en los métodos manuales. Autores como **Sacks et al. (2018)** argumentan que la fragmentación de datos y la subjetividad en la captura de información generan reportes desfasados, a menudo con retrasos de días o semanas. Esta latencia convierte al control de obra en un proceso reactivo, donde los problemas se identifican cuando el impacto en el presupuesto ya es irreversible. Además, la doble digitación de datos aumenta exponencialmente el riesgo de error humano.

2.2. Transformación Digital en la Industria de la Construcción

La industria de la construcción, históricamente catalogada como una de las menos digitalizadas, atraviesa actualmente la "Construcción 4.0". Esta transformación implica la migración de procesos analógicos hacia flujos de trabajo basados en datos e interoperabilidad (Sawhney et al., 2020).

La transición hacia la Construcción 4.0 representa un cambio de paradigma sociotécnico que busca revertir el rezago histórico en productividad y digitalización del sector (McKinsey Global Institute, 2017). Este ecosistema se fundamenta en la convergencia de tecnologías habilitadoras, donde el Building Information Modeling (BIM) actúa como el eje central de datos para la integración de flujos de trabajo ciberfísicos, tales como la robótica y la inteligencia artificial (Sawhney et al., 2020). De acuerdo con Forcael et al. (2020), la esencia de esta transformación no radica únicamente en la adopción de herramientas digitales, sino en la creación de un entorno de interoperabilidad y captura de datos en tiempo real, permitiendo que la información analógica migre hacia procesos automatizados que optimizan la toma de decisiones y la gestión del ciclo de vida de los proyectos de infraestructura.

2.2.1. Tecnologías Emergentes en Gestión de Proyectos de Construcción

La convergencia tecnológica ha permitido la entrada de herramientas disruptivas y la cuarta revolución Industrial ha permeado el sector de la construcción bajo el concepto de construcción 4.0, introduciendo un cambio de paradigma donde la información deja de ser estática. Las tecnologías emergentes no solo optimizan tareas individuales, sino que redefinen la trazabilidad del proyecto (Sawhney et al., 2020), a continuación, se presentan algunas de las tecnologías que mejor representan la gestión de proyectos:

- **BIM (Building Information Modeling):** El BIM 4D representa la convergencia entre la geometría tridimensional y la planificación temporal. Según Eastman et al. (2018), esta tecnología permite la simulación de procesos constructivos, facilitando la identificación de conflictos espaciales y temporales antes de la ejecución física. En la gestión de avances, el BIM 4D actúa como la línea base digital, permitiendo comparar visualmente lo "planificado" contra lo "ejecutado".

- **Inteligencia Artificial (IA):** La IA es el motor analítico del modelo propuesto. Su aplicación más relevante en el seguimiento de obra es la visión artificial. Mediante redes neuronales convolucionales (CNN), el sistema es capaz de identificar elementos instalados (vigas, placas, tuberías) a partir de fotografías o videos. Asimismo, determina si un elemento está "en proceso", "terminado" o "con retraso" mediante la comparación de patrones visuales y permite procesar datos históricos para predecir desviaciones futuras en el cronograma, facilitando una gestión proactiva de los insumos (Wang et al., 2021).

2.2.2. Integración de Datos y Ecosistemas Digitales en Obra

La verdadera transformación no reside en la adopción aislada de software, sino en la creación de un ecosistema digital. Según Eastman et al. (2018), la integración de datos mediante estándares de interoperabilidad el cual permite que la información de campo alimente automáticamente el modelo BIM. Esto facilita un feedback loop donde la IA procesa la realidad física y la compara contra el modelo 4D planificado, eliminando la dispersión documental y proporcionando una visión holística del proyecto.

La integración de datos representa el nivel más alto de madurez digital en la construcción. Ya no se trata únicamente de modelar en 3D o 4D, sino de crear un entorno común de datos donde la información fluya sin fricciones entre la oficina técnica y el frente de obra. Según Sacks et al. (2020), un ecosistema digital eficiente es aquel que logra romper los "silos de información", permitiendo que los datos capturados en campo por dispositivos móviles o sensores alimenten automáticamente los modelos de gestión.

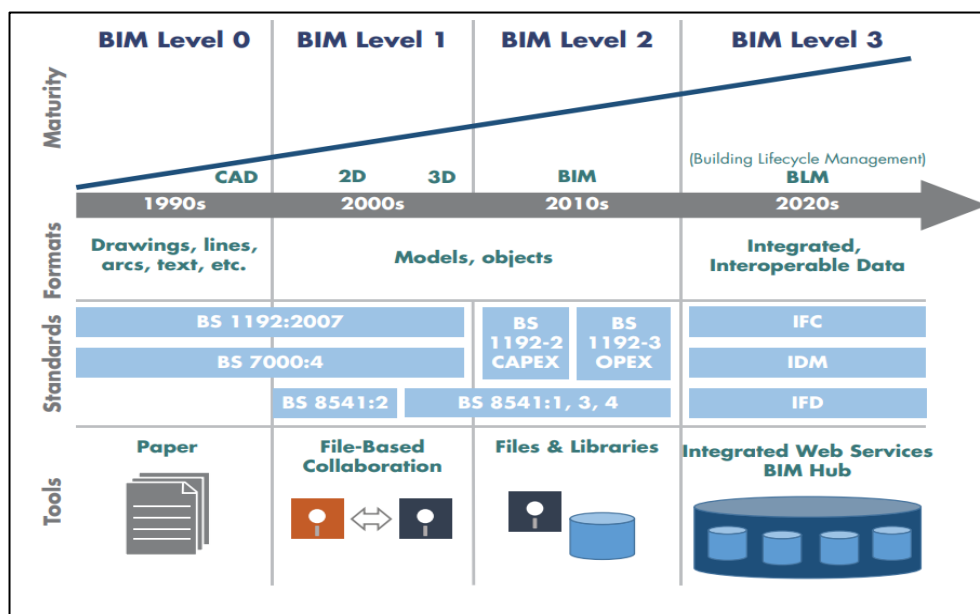
La base de cualquier ecosistema digital es la interoperabilidad. El uso de estándares abiertos, como el Industry Foundation Classes (IFC), permite que el modelo BIM 4D sea compatible con algoritmos de IA desarrollados en diferentes lenguajes de programación. Como

señalan Eastman et al. (2018), la capacidad de intercambiar datos sin pérdida de integridad es fundamental para que el consorcio mantenga una visión holística del proyecto, evitando la duplicidad de tareas y la inconsistencia en los insumos informativos.

2.3. Building Information Modeling (BIM)

En las últimas décadas, la industria de la construcción ha experimentado un proceso gradual de transformación digital impulsado por la necesidad de mejorar la eficiencia, reducir los sobrecostos y optimizar la coordinación entre los diferentes actores involucrados en los proyectos. Dentro de este proceso de modernización, la metodología Building Information Modeling (BIM) ha emergido como una de las herramientas más relevantes para la gestión integrada de la información en el sector de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (Eastman et al., 2018).

Figura 1 - Modelo de niveles BIM



Fuente: British Standards Institution, (2017)

Desde la perspectiva indicada en la figura 1, la metodología BIM se interpreta como un proceso evolutivo que trasciende el dibujo asistido por computadora, impulsando la

transformación digital del sector. En este sentido, la clasificación de niveles de madurez (del 0 al 3), ilustrada en la figura 1 constituye el estándar de referencia universal para evaluar el grado de adopción y el cumplimiento de los criterios BIM en la ejecución de proyectos de construcción.

La industria de la construcción se ha caracterizado históricamente por altos niveles de fragmentación en la gestión de la información, lo que ha generado problemas recurrentes de coordinación, retrasos en la ejecución y desviaciones presupuestales. En este contexto, BIM se presenta como una metodología capaz de integrar múltiples fuentes de información dentro de un modelo digital centralizado, permitiendo mejorar la planificación, la coordinación interdisciplinaria y el control del proyecto a lo largo de su ciclo de vida.

De acuerdo con Eastman et al. (2011), BIM puede definirse como un proceso que implica la creación y gestión de representaciones digitales de las características físicas y funcionales de una infraestructura. Estas representaciones constituyen una base de conocimiento compartida que facilita la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida del proyecto, desde las etapas iniciales de diseño hasta la operación y mantenimiento del activo construido.

En este sentido, BIM no debe entenderse únicamente como una herramienta de modelado tridimensional, sino como una metodología de gestión de información que permite integrar datos geométricos, temporales, económicos y operativos dentro de un entorno digital colaborativo. Succar (2009) señala que BIM representa un cambio paradigmático en la forma en que se desarrollan los proyectos de construcción, ya que permite pasar de modelos de trabajo fragmentados hacia procesos colaborativos basados en la interoperabilidad de la información.

La implementación de BIM ha demostrado beneficios significativos en la reducción de conflictos constructivos, la optimización de la planificación del proyecto y la mejora en la comunicación entre los equipos de trabajo. Asimismo, su adopción ha sido impulsada por

diferentes gobiernos y organizaciones internacionales que promueven la digitalización del sector de la construcción como estrategia para mejorar la productividad y la sostenibilidad de la infraestructura.

2.3.1. Concepto y evolución del BIM

El concepto de Building Information Modeling tiene sus raíces en el desarrollo de tecnologías de modelado digital que comenzaron a surgir a finales del siglo XX como una evolución de los sistemas tradicionales de diseño asistido por computadora. Mientras que los sistemas CAD permitían representar gráficamente los elementos del proyecto mediante dibujos bidimensionales o tridimensionales, BIM introduce un enfoque basado en objetos paramétricos que contienen información asociada a los diferentes componentes del proyecto.

Según Eastman et al. (2011), el principal aporte de BIM radica en su capacidad para integrar información técnica, geométrica y administrativa dentro de un modelo digital que funciona como una base de datos centralizada del proyecto. Cada elemento del modelo no solo representa una geometría, sino que también incorpora atributos relacionados con materiales, especificaciones técnicas, cronogramas, costos y mantenimiento.

Desde una perspectiva histórica, la evolución del BIM puede dividirse en varias etapas. En una primera etapa, el modelado digital se enfocaba principalmente en la representación tridimensional de los elementos constructivos. Posteriormente, se incorporaron capacidades de análisis y simulación que permitieron integrar información adicional relacionada con la planificación y la gestión del proyecto.

Succar (2009) propone un modelo de madurez BIM que describe la evolución de esta metodología en tres niveles principales. El primer nivel corresponde al modelado basado en objetos, donde se desarrollan modelos tridimensionales paramétricos. El segundo nivel implica la

colaboración entre disciplinas mediante el intercambio de modelos digitales. Finalmente, el tercer nivel corresponde a la integración completa de la información del proyecto dentro de un entorno digital colaborativo.

En la actualidad, BIM se encuentra respaldado por estándares internacionales como la serie de normas ISO 19650, las cuales establecen principios y requisitos para la gestión de la información en proyectos de construcción desarrollados mediante esta metodología. Estos estándares buscan garantizar la interoperabilidad entre diferentes plataformas tecnológicas y promover la adopción de procesos colaborativos basados en modelos digitales.

2.3.2. Dimensiones del BIM

Uno de los aspectos más relevantes de la metodología BIM es su capacidad para integrar múltiples dimensiones de información dentro del modelo digital del proyecto. Estas dimensiones permiten ampliar el alcance del modelado más allá de la representación geométrica, incorporando información relacionada con la planificación, los tiempos, programación y toma de decisiones.

De acuerdo con Azhar (2011), las dimensiones del BIM se han desarrollado progresivamente a medida que la industria ha reconocido el potencial de esta metodología para apoyar la gestión integral del ciclo de vida de los proyectos de construcción.

La primera dimensión corresponde al BIM 3D, que representa la modelación tridimensional del proyecto mediante objetos paramétricos que contienen información técnica sobre los diferentes componentes constructivos. Esta dimensión permite mejorar la visualización del proyecto y facilitar la coordinación entre las diferentes disciplinas involucradas en el diseño.

La segunda dimensión corresponde al BIM 4D, que integra el modelo tridimensional con la dimensión temporal del proyecto. Esta integración permite vincular los elementos del modelo

con las actividades del cronograma, facilitando la simulación de la secuencia constructiva y la planificación de la ejecución de la obra.

La tercera dimensión corresponde al BIM 5D, que incorpora información relacionada con los costos del proyecto. Esta dimensión permite realizar estimaciones presupuestales más precisas y analizar el impacto económico de los cambios en el diseño o en la planificación.

Posteriormente se han desarrollado dimensiones adicionales, como el BIM 6D, enfocado en el análisis de sostenibilidad y eficiencia energética, y el BIM 7D, orientado a la gestión de operación y mantenimiento de la infraestructura. La integración de estas dimensiones permite que el modelo BIM se convierta en una plataforma integral para la gestión de información durante todo el ciclo de vida del proyecto, facilitando la toma de decisiones basadas en datos Azhar (2011).

2.3.3. Beneficios del BIM en la gestión de proyectos de construcción

La adopción de BIM ha generado múltiples beneficios en la gestión de proyectos de construcción, especialmente en términos de eficiencia, coordinación y control de la información.

Uno de los beneficios más importantes es la mejora en la coordinación entre disciplinas. En los proyectos tradicionales, cada disciplina desarrolla sus propios planos y documentos de manera independiente, lo que puede generar inconsistencias y conflictos constructivos durante la ejecución. BIM permite integrar los modelos de las diferentes disciplinas dentro de un entorno digital común, facilitando la detección temprana de interferencias y reduciendo la probabilidad de errores en obra.

Azhar (2011) señala que la utilización de BIM puede reducir significativamente los costos asociados a retrabajos y modificaciones durante la fase de construcción, ya que permite identificar conflictos antes de que estos se materialicen en el sitio de obra.

Otro beneficio importante es la mejora en la planificación del proyecto. La integración de información dentro del modelo digital permite analizar diferentes escenarios constructivos y optimizar la secuencia de actividades, lo que contribuye a mejorar la eficiencia del proceso constructivo.

Asimismo, BIM facilita la comunicación entre los diferentes actores del proyecto. La visualización tridimensional del modelo permite que arquitectos, ingenieros, contratistas y clientes comprendan con mayor claridad el diseño y la planificación del proyecto, lo que contribuye a reducir malentendidos y mejorar la toma de decisiones Azhar (2011).

En términos generales, la implementación de BIM contribuye a mejorar la productividad del sector de la construcción, el cual ha sido tradicionalmente caracterizado por bajos niveles de digitalización en comparación con otras industrias.

2.3.4. BIM 4D

Dentro de las diferentes dimensiones del BIM, la dimensión 4D representa uno de los avances más significativos en la planificación y gestión de proyectos de construcción. El BIM 4D consiste en la integración del modelo tridimensional del proyecto con la dimensión temporal, lo que permite simular la secuencia constructiva y analizar el progreso del proyecto a lo largo del tiempo.

Según Hartmann y Fischer (2008), el BIM 4D permite visualizar la relación entre los elementos del modelo digital y las actividades del cronograma del proyecto. Esta capacidad de simulación facilita la comprensión de la planificación del proyecto y permite identificar posibles conflictos o ineficiencias en la secuencia de construcción.

El uso de BIM 4D ha demostrado ser particularmente útil en proyectos de alta complejidad, donde la coordinación entre múltiples actividades y recursos resulta fundamental para garantizar el cumplimiento del cronograma.

- **Integración del modelo 3D con el cronograma:** La integración del modelo 3D con el cronograma constituye el fundamento del BIM 4D. Este proceso consiste en vincular los elementos del modelo digital con las actividades correspondientes del cronograma del proyecto, generalmente desarrollado mediante metodologías de planificación como el método de la ruta crítica.

Koo y Fischer (2000) explican que esta integración permite generar simulaciones visuales que muestran la evolución del proyecto en función del tiempo, lo que facilita la identificación de inconsistencias en la planificación y mejora la comprensión de la secuencia constructiva.

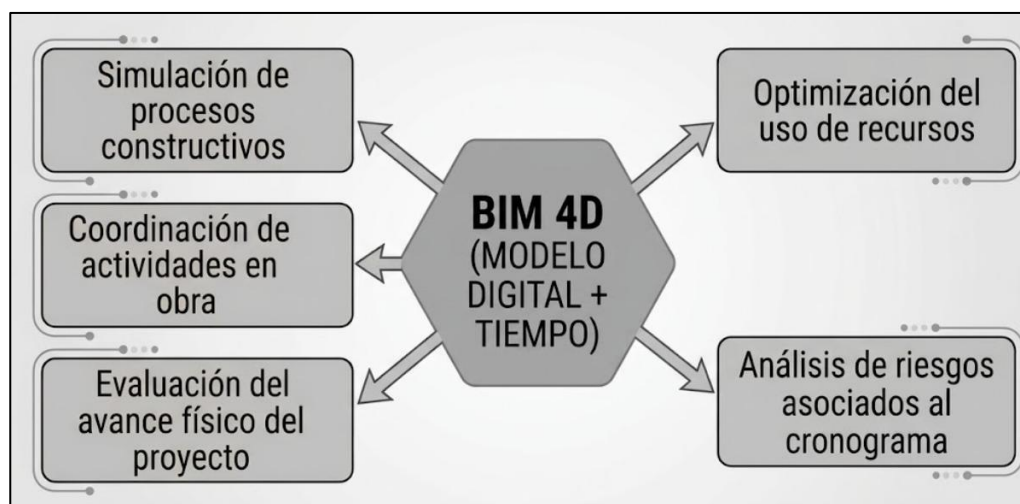
Además, la simulación 4D permite evaluar diferentes alternativas de planificación antes de la ejecución en obra, lo que contribuye a optimizar el uso de recursos y reducir los riesgos asociados a retrasos en el proyecto.

- **Aplicaciones del BIM 4D en control de obra:** El BIM 4D trasciende la planificación tradicional al permitir la integración del factor tiempo en el modelo digital, lo que facilita la comparación del avance real frente a la línea base del cronograma (Kumar, 2015). Esta funcionalidad es crítica para la detección temprana de desviaciones en la ruta crítica, permitiendo a la gerencia de proyecto implementar medidas correctivas antes de que los retrasos afecten el presupuesto (Jongeling & Olofsson, 2007). Asimismo, la visualización de la secuencia constructiva mejora la comunicación entre los interesados, reduciendo conflictos de flujo de trabajo en el sitio de obra.

Entre las principales aplicaciones del BIM 4D se encuentran: El esquema que se presenta a continuación en la figura 2, se ilustra las dimensiones operativas del BIM 4D (definido como la integración del modelo digital y el tiempo), destacando su papel central en la gestión técnica del proyecto.

A partir de este núcleo conceptual, se despliegan cinco funciones metodológicas clave: la simulación de procesos constructivos, la coordinación de actividades en obra y la evaluación del avance físico del proyecto. Asimismo, se integran las capacidades para la optimización del uso de recursos y el análisis de riesgos asociados al cronograma, consolidando al modelo 4D como un ecosistema integral para la supervisión y toma de decisiones proactiva.

Figura 2 - Aplicaciones del BIM 4D



Fuente: Elaboración propia.

Estas aplicaciones convierten al BIM 4D en una herramienta fundamental para mejorar la planificación y el control de proyectos de construcción.

- **Ventajas del BIM 4D en la gestión del avance:** El uso del BIM 4D en el control del avance de obra ofrece múltiples ventajas frente a los métodos tradicionales de seguimiento basados en reportes manuales y planillas de cálculo.

En primer lugar, permite visualizar de manera clara el progreso del proyecto en relación con la planificación establecida. Esta capacidad de visualización facilita la identificación de retrasos y permite tomar decisiones correctivas de manera oportuna.

En segundo lugar, el BIM 4D mejora la comunicación entre los diferentes actores del proyecto, ya que proporciona una representación gráfica del avance que puede ser comprendida fácilmente por todos los participantes (Jongeling & Olofsson, 2007).

Finalmente, la integración del modelo digital con herramientas de análisis de datos permite desarrollar sistemas de monitoreo más avanzados que facilitan la gestión del avance en tiempo real.

2.4. Inteligencia Artificial aplicada a la gestión de proyectos de obras civiles

En los últimos años, la industria de la construcción ha comenzado a incorporar tecnologías emergentes con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa, optimizar la toma de decisiones y reducir la incertidumbre asociada a la ejecución de proyectos. Dentro de estas tecnologías, la Inteligencia Artificial (IA) ha adquirido una relevancia creciente debido a su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos, identificar patrones y automatizar procesos complejos.

Tradicionalmente, la gestión de proyectos de construcción ha dependido en gran medida de procesos manuales y de la experiencia de los profesionales encargados del control del proyecto. Sin embargo, la creciente complejidad de las obras civiles, así como la necesidad de mejorar la

precisión en la planificación y el seguimiento del avance, han impulsado la adopción de herramientas basadas en IA (Darko et al., 2020; Pan & Zhang, 2021).

Según Russell y Norvig (2021), la Inteligencia Artificial puede definirse como el campo de estudio que se enfoca en el desarrollo de sistemas computacionales capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, tales como el aprendizaje, el razonamiento, la percepción y la toma de decisiones. Estos sistemas utilizan algoritmos avanzados que permiten analizar datos y generar resultados que contribuyen a mejorar los procesos de gestión.

En el contexto de la construcción, la IA está siendo aplicada en diferentes áreas, incluyendo la planificación de proyectos, la gestión de riesgos, el análisis de productividad, el monitoreo del avance en obra y la automatización de procesos de captura y procesamiento de información.

La integración de la Inteligencia Artificial con metodologías digitales como BIM representa una oportunidad significativa para mejorar la gestión de la información en proyectos de construcción. Esta integración permite desarrollar sistemas inteligentes capaces de analizar el estado del proyecto en tiempo real, detectar desviaciones respecto a la planificación y apoyar la toma de decisiones de los equipos de gestión Russell y Norvig (2021).

Asimismo, la incorporación de herramientas de IA en los procesos de captura de datos de campo permite transformar la información proveniente de la obra en datos digitales estructurados que pueden ser utilizados para alimentar sistemas de análisis y control del proyecto.

2.4.1. Concepto y evolución de la Inteligencia Artificial

Según Russell y Norvig (2021) la Inteligencia Artificial tiene sus orígenes en la década de 1950, cuando investigadores comenzaron a explorar la posibilidad de desarrollar sistemas computacionales capaces de simular procesos cognitivos humanos. Uno de los primeros hitos en

el desarrollo de la IA fue la conferencia de Dartmouth en 1956, considerada como el punto de partida formal de esta disciplina.

Durante sus primeras décadas, la investigación en IA se enfocó principalmente en el desarrollo de algoritmos capaces de resolver problemas lógicos y matemáticos. Sin embargo, las limitaciones en la capacidad de procesamiento de los computadores de la época restringieron el alcance de estas aplicaciones.

Con el avance de la tecnología y el incremento exponencial de la capacidad de procesamiento de datos, la IA ha experimentado un desarrollo significativo en las últimas décadas. (Russell & Norvig, 2021). Actualmente, técnicas como el aprendizaje automático (Machine Learning), el aprendizaje profundo (Deep Learning) y el procesamiento de lenguaje natural (Natural Language Processing) han permitido desarrollar sistemas capaces de analizar grandes volúmenes de información y generar resultados con altos niveles de precisión.

Según Goodfellow, Bengio y Courville (2016), el aprendizaje automático constituye uno de los pilares fundamentales de la IA moderna, ya que permite que los sistemas informáticos aprendan a partir de datos sin necesidad de ser programados explícitamente para cada tarea.

En el contexto actual, la Inteligencia Artificial se ha convertido en una tecnología transversal que impacta múltiples sectores industriales, incluyendo la manufactura, la logística, el transporte, la salud y la construcción.

2.4.2. Aplicaciones de IA en la industria de la construcción

La aplicación de la Inteligencia Artificial en la industria de la construcción ha crecido de manera significativa en los últimos años, impulsada por la necesidad de mejorar la eficiencia y reducir los riesgos asociados a la ejecución de proyectos.

Una de las áreas donde la IA ha demostrado mayor potencial es en el análisis predictivo. Mediante el uso de algoritmos de aprendizaje automático, es posible analizar datos históricos de proyectos y generar modelos capaces de predecir posibles retrasos, sobrecostos o problemas en la ejecución de las obras (Darko et al., 2020).

Asimismo, la IA puede utilizarse para optimizar la planificación de proyectos mediante el análisis de diferentes escenarios de programación y la identificación de secuencias constructivas más eficientes.

Otra aplicación relevante de la IA en la construcción es el uso de sistemas de visión artificial para el monitoreo del avance en obra. Estas tecnologías permiten analizar imágenes o videos capturados en el sitio de construcción con el objetivo de identificar el estado de los diferentes elementos constructivos y comparar el avance real con el modelo digital del proyecto (Sacks et al., 2020).

De igual manera, la Inteligencia Artificial se utiliza para mejorar la gestión de la seguridad en obra, mediante sistemas capaces de identificar situaciones de riesgo o comportamientos inseguros en el sitio de construcción.

Estas aplicaciones evidencian el potencial de la IA para transformar la forma en que se gestionan los proyectos de construcción, permitiendo pasar de modelos reactivos basados en reportes manuales hacia sistemas de gestión proactivos basados en análisis de datos (Pan & Zhang, 2021).

2.4.3. IA para captura y procesamiento de datos en obra

Uno de los principales desafíos en la gestión de proyectos de construcción es la captura oportuna y confiable de información en el sitio de obra. Tradicionalmente, los datos relacionados

con el avance del proyecto se registran mediante reportes manuales, fotografías o planillas de cálculo, lo que puede generar errores, retrasos en la transmisión de información y falta de consistencia en los datos reportados.

La Inteligencia Artificial ofrece nuevas posibilidades para mejorar estos procesos mediante la automatización de la captura y el procesamiento de datos de campo (Ahuja et al., 2020).

Por ejemplo, mediante el uso de tecnologías de procesamiento de lenguaje natural es posible desarrollar sistemas capaces de interpretar información proporcionada por los trabajadores o supervisores de obra y transformarla automáticamente en datos estructurados que pueden ser utilizados en sistemas de gestión del proyecto (Wu et al., 2022).

Asimismo, la IA puede integrarse con sistemas de visión artificial que permiten analizar imágenes capturadas en el sitio de obra para identificar el estado de avance de diferentes elementos constructivos. Estas tecnologías permiten reducir la dependencia de procesos manuales y mejorar la calidad de la información utilizada para el control del proyecto (Spencer et al., 2019).

En el contexto de la presente investigación, la utilización de herramientas basadas en IA para la captura de información mediante interfaces conversacionales representa una estrategia innovadora para digitalizar los procesos de seguimiento del avance en obra.

2.4.4. Chatbot y automatización de flujos de información

Los Chatbot basados en Inteligencia Artificial constituyen una de las aplicaciones más recientes de esta tecnología en los procesos de gestión de información. Un Chatbot puede definirse como un sistema informático diseñado para interactuar con los usuarios mediante conversaciones automatizadas, generalmente a través de interfaces de mensajería digital.

Según Shawar y Atwell (2007), los Chatbot utilizan técnicas de procesamiento de lenguaje natural para interpretar las solicitudes de los usuarios y generar respuestas automatizadas basadas en reglas o algoritmos de aprendizaje automático.

En el contexto de la gestión de proyectos de construcción, los Chatbot pueden utilizarse como herramientas para facilitar la captura de información de campo. A través de plataformas de mensajería ampliamente utilizadas, como aplicaciones móviles de comunicación, los trabajadores o supervisores pueden registrar información sobre el avance de las actividades, incidencias en obra o estado de los recursos (Dave et al., 2018).

Una de las principales ventajas de este enfoque es que permite simplificar el proceso de captura de datos, reduciendo la necesidad de utilizar formularios complejos o sistemas informáticos especializados.

Asimismo, la integración de Chatbot con plataformas de análisis de datos permite automatizar el flujo de información desde el sitio de obra hacia los sistemas de gestión del proyecto, facilitando el monitoreo del avance y la generación de indicadores de desempeño en tiempo real (Zhai et al., 2020).

2.5. Visualización de datos de obra en medios digitales

La creciente digitalización de la industria de la construcción ha generado una gran cantidad de datos relacionados con el diseño, la planificación y la ejecución de los proyectos. Sin embargo, la disponibilidad de datos por sí sola no garantiza una mejora en la gestión del proyecto, ya que es necesario contar con herramientas que permitan transformar esta información en conocimiento útil para la toma de decisiones.

En este contexto, la visualización de datos se ha convertido en un elemento clave para la gestión moderna de proyectos de construcción. La visualización permite representar información compleja mediante gráficos, indicadores y paneles interactivos que facilitan la interpretación de los datos y el análisis del estado del proyecto (Lin et al., 2021).

Según Few (2013), la visualización de datos constituye una herramienta fundamental para la toma de decisiones basada en información, ya que permite identificar patrones, tendencias y desviaciones que podrían pasar desapercibidas en conjuntos de datos tradicionales. En el ámbito de la construcción, la visualización de datos permite integrar información proveniente de diferentes fuentes, como cronogramas, modelos BIM, reportes de avance y registros financieros, proporcionando una visión integral del estado del proyecto.

2.5.1. Herramientas de análisis y visualización de datos

Las herramientas de Business Intelligence han adquirido una gran relevancia en los procesos de gestión empresarial debido a su capacidad para analizar grandes volúmenes de información y transformarlos en indicadores comprensibles para los tomadores de decisiones.

Estas herramientas permiten integrar datos provenientes de diferentes sistemas, crear modelos de análisis y generar reportes interactivos que facilitan la evaluación del desempeño de los proyectos.

Según Sharda, Delen y Turban (2014), los sistemas de Business Intelligence permiten mejorar la toma de decisiones organizacionales mediante el análisis de datos históricos y la generación de información estratégica.

En el sector de la construcción, las herramientas de BI permiten analizar indicadores relacionados con el avance físico, el desempeño financiero, la productividad de los equipos de trabajo y la gestión de recursos.

2.5.2. Aplicación de dashboards en la gestión de obras

Los dashboards o paneles de control constituyen una de las herramientas más utilizadas para la visualización de datos en proyectos de construcción. Un dashboard puede definirse como una interfaz visual que presenta de manera integrada los principales indicadores de desempeño del proyecto. Según Few (2013), los dashboards permiten representar información crítica mediante gráficos, indicadores y tablas que facilitan la comprensión del estado del proyecto.

En el contexto del control de obras civiles, los dashboards permiten monitorear indicadores como el avance físico, el cumplimiento del cronograma, la ejecución presupuestal y la productividad de los equipos de trabajo (Pauwels et al., 2020).

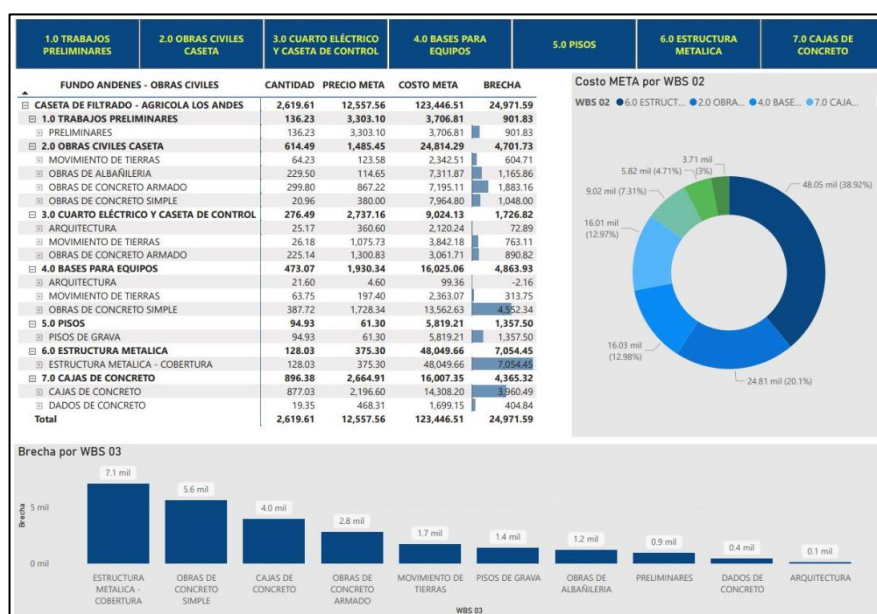
La utilización de dashboards facilita la identificación temprana de desviaciones respecto a la planificación inicial del proyecto, permitiendo a los equipos de gestión implementar acciones correctivas de manera oportuna. Asimismo, estos paneles permiten mejorar la comunicación entre los diferentes niveles de gestión del proyecto, ya que proporcionan una representación clara y accesible de la información relevante para la toma de decisiones (Al-Jassmi et al., 2019).

2.5.3. Uso de Power BI para el avance de obra

Power BI es una plataforma de análisis de datos desarrollada por Microsoft que permite integrar información proveniente de diferentes fuentes, generar modelos analíticos y crear visualizaciones interactivas mediante dashboards dinámicos.

Esta herramienta ha sido ampliamente adoptada en diferentes sectores industriales debido a su capacidad para transformar grandes volúmenes de datos en información visualmente comprensible. En el ámbito de la construcción, Power BI permite analizar datos relacionados con el cronograma del proyecto, el avance físico de las actividades, el consumo de recursos y la ejecución presupuestal.

Figura 3 - Representación de interfaz de tablero Power BI



Fuente: Adaptado de Power BI para el Control de Proyectos, por Planicontrol, s.f.

La anterior imagen representa el dashboard donde se visualiza un ecosistema digital de control de proyectos diseñado en Power BI, el cual integra la gestión financiera con la estructura de desglose de trabajo (EDT). La interfaz presenta un análisis comparativo entre la cantidad, el precio meta y el costo meta, destacando mediante gráficos de dona y barras las brechas o desviaciones existentes en capítulos como estructura metálica, obras civiles y cimentación.

La integración de Power BI con otras herramientas digitales utilizadas en la gestión de proyectos, como sistemas de planificación o modelos BIM, permite desarrollar sistemas de

monitoreo que facilitan el seguimiento del avance del proyecto en tiempo casi real. Además, la utilización de dashboards interactivos permite que los responsables de la gestión del proyecto puedan acceder rápidamente a información actualizada sobre el estado de la obra, lo que contribuye a mejorar la calidad de las decisiones y reducir los riesgos asociados a retrasos o desviaciones en el proyecto.

2.6. Modelo Digital de Gestión de Avance (MDGA)

La gestión del avance en proyectos de construcción ha sido tradicionalmente realizada mediante sistemas de reporte manual, donde la información es recopilada por supervisores de obra y posteriormente consolidada en informes periódicos. Aunque este enfoque ha sido ampliamente utilizado durante décadas, presenta importantes limitaciones relacionadas con la oportunidad de la información, la trazabilidad de los datos y la capacidad de análisis en tiempo real.

En la actualidad, la transformación digital de la industria de la construcción ha generado nuevas oportunidades para mejorar los procesos de control y seguimiento de proyectos mediante la integración de tecnologías digitales. Entre estas tecnologías se destacan el Building Information Modeling (BIM), la Inteligencia Artificial (IA) y las herramientas de análisis de datos, las cuales permiten desarrollar sistemas más eficientes para la gestión de la información en obra.

Para efectos de esta investigación, los partícipes de este proyecto definen el Modelo Digital de Gestión de Avance (MDGA), entendido como un sistema integrado que permite capturar, procesar y visualizar información relacionada con el avance de un proyecto de construcción mediante la utilización de tecnologías digitales interconectadas.

El MDGA se fundamenta en la integración de diferentes herramientas tecnológicas que permiten digitalizar el flujo de información desde el sitio de obra hasta los sistemas de análisis y

visualización utilizados por los equipos de gestión del proyecto. De esta manera, el modelo permite transformar los datos capturados en campo en información estructurada que facilita el seguimiento del avance del proyecto y la toma de decisiones basada en datos. Este enfoque representa una evolución respecto a los sistemas tradicionales de control de obra, ya que permite pasar de un modelo de gestión basado en reportes periódicos a un sistema de monitoreo continuo que proporciona información actualizada sobre el estado del proyecto.

2.6.1. Integración de tecnologías para la gestión del avance

Uno de los elementos fundamentales del modelo digital de gestión de avance es la integración de diferentes tecnologías digitales que permiten gestionar de manera eficiente la información generada durante la ejecución del proyecto.

En este modelo, el BIM 4D constituye la base para la planificación y visualización del cronograma del proyecto, ya que permite vincular los elementos del modelo tridimensional con las actividades del programa de obra. Esta integración facilita la simulación del proceso constructivo y permite visualizar la secuencia de ejecución de las diferentes actividades del proyecto.

Por otra parte, las tecnologías de inteligencia artificial permiten automatizar los procesos de captura y procesamiento de datos provenientes del sitio de obra. Mediante el uso de interfaces conversacionales y sistemas de procesamiento de lenguaje natural, es posible registrar información sobre el avance de las actividades de manera rápida y sencilla, reduciendo la dependencia de reportes manuales.

Adicionalmente, las herramientas de Business Intelligence, como las plataformas de análisis de datos y visualización mediante dashboards, permiten transformar los datos recopilados en indicadores que facilitan la evaluación del desempeño del proyecto. La integración de estas

tecnologías permite establecer un flujo de información continuo que conecta el sitio de obra con los sistemas de análisis utilizados por los responsables de la gestión del proyecto.

2.6.2. Flujo digital de información desde obra

El funcionamiento del modelo digital de gestión de avance se basa en la creación de un flujo digital de información que permite capturar datos en campo y transformarlos en indicadores de desempeño del proyecto.

Este flujo de información puede dividirse en diferentes etapas:

- **Captura de datos en obra:** En esta etapa se registra información relacionada con el avance de las actividades, el estado de los recursos y las incidencias que pueden afectar el desarrollo del proyecto. La captura de estos datos puede realizarse mediante herramientas digitales accesibles para los trabajadores o supervisores de obra.
- **Procesamiento y estructuración de la información:** Una vez capturados, los datos deben ser procesados y estructurados para que puedan ser utilizados en los sistemas de análisis. En esta etapa se utilizan herramientas de automatización y algoritmos que permiten transformar la información registrada en datos organizados.
- **Integración con el modelo digital del proyecto:** Posteriormente, los datos procesados se integran con el modelo digital del proyecto, lo que permite comparar el avance real con la planificación establecida en el cronograma.
- **Visualización y análisis del avance:** Finalmente, la información se presenta mediante dashboards y paneles de control que permiten a los responsables del proyecto analizar el estado de avance de la obra y tomar decisiones informadas. Este flujo de información permite reducir los

tiempos de procesamiento de datos y mejorar la calidad de la información utilizada para el control del proyecto.

2.6.3. Indicadores de desempeño para el control del avance

El modelo digital de gestión de avance se apoya en la utilización de indicadores clave de desempeño (KPIs) que permiten evaluar el estado del proyecto en relación con los objetivos de tiempo, costo y productividad.

Los indicadores de avance constituyen herramientas fundamentales para el control de proyectos, ya que permiten medir el desempeño del proyecto y detectar posibles desviaciones respecto a la planificación inicial. Entre los indicadores más utilizados para el seguimiento del avance en tiempo de proyectos de construcción se encuentran:

- Porcentaje de avance físico de la obra
- Cumplimiento del cronograma
- Variación entre avance planificado y avance real
- Productividad de las actividades constructivas
- Rendimiento de los recursos utilizados

La utilización de estos indicadores permite evaluar el desempeño del proyecto de manera objetiva y facilita la identificación de posibles problemas en la ejecución de las actividades. Asimismo, la integración de estos indicadores con herramientas de visualización de datos permite representar la información de manera clara y accesible para los diferentes actores involucrados en la gestión del proyecto.

2.6.4. Integración del modelo digital de gestión de avance en Power BI

Para que la implementación del modelo digital de gestión de avance (MDGA) alcance su máximo potencial cuando los datos capturados y procesados se transforman en conocimiento accionable. En este contexto, Power BI se establece como la herramienta neurálgica para la consolidación de este modelo, permitiendo la transición de un sistema de reporte manual a un tablero digital dinámico e interconectado. A continuación, se describe los procesos que generan la integración entre el MDGA con Power BI.

- **Arquitectura del flujo de datos en el MDGA:** Para que el MDGA funcione eficazmente dentro de Power BI, se debe estructurar un flujo que optimice los sistemas tradicionales, como los datos recopilados en campo que se centralizan en una base de datos (SQL, Excel en la nube). De esta manera, Power BI se conecta a estas fuentes mediante conectores automatizados, garantizando que la trazabilidad de los datos sea íntegra desde la obra hasta el reporte final.

- **Visualización y Análisis en Tiempo Real:** El tablero digital diseñado bajo la metodología MDGA integra tres capas fundamentales de visualización:

Integración BIM: Mediante el uso de visualizadores (como Speckle by Power BI), el MDGA permite visualizar el avance físico directamente sobre el modelo 3D y cronograma. Los elementos construidos cambian de color automáticamente según el estado reportado en campo.

Análisis predictivo con IA: Utilizando las capacidades de Inteligencia Artificial nativas de Power BI, el MDGA puede proyectar fechas de finalización basadas en el rendimiento actual, superando la limitación de la "oportunidad de la información" mencionada en los sistemas tradicionales.

- **Impacto en la Toma de Decisiones:** La integración del MDGA en un tablero digital generaliza el acceso a la información. Los usuarios pueden reportar de manera directa el avance de obra por actividades. Así mismo garantiza la transparencia mediante un historial de datos verídico, que reemplaza la consolidación manual de informes en formato digital.

La unión del MDGA con Power BI no es solo un cambio de formato, sino una evolución hacia la gestión proactiva. Al digitalizar el flujo de información, el modelo asegura que cada dato capturado en el sitio de obra se convierta en un píxel dentro de un tablero de control que guía el éxito del proyecto de construcción.

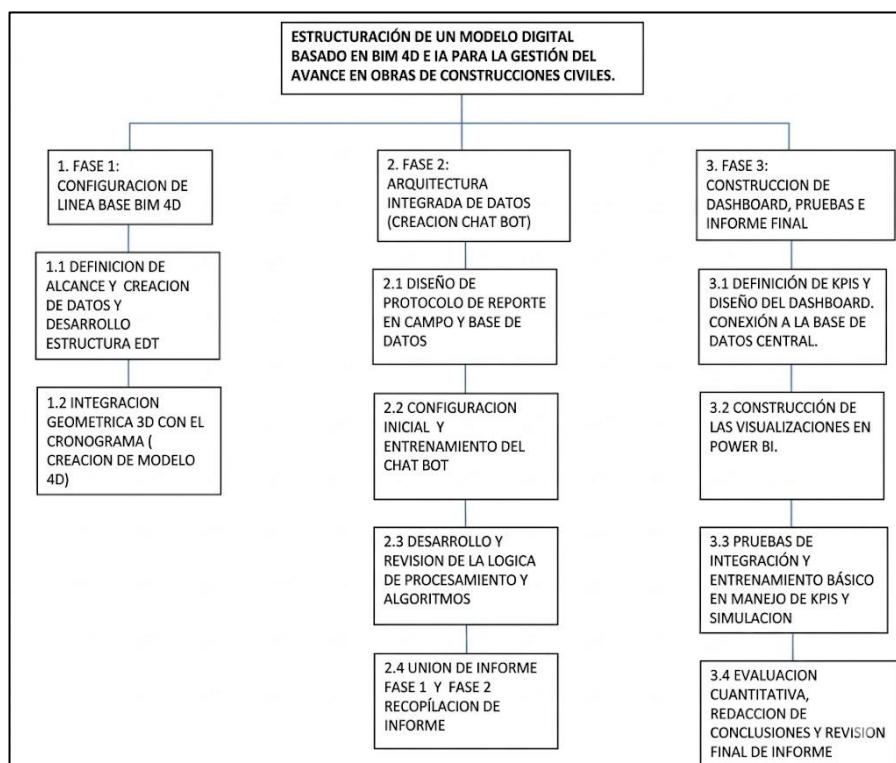
3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se basó en la gestión de avance de proyectos de obras civiles, en un contexto que exigió la transición desde los métodos de control tradicionales caracterizados por la fragmentación de datos y la dependencia de reportes manuales hacia ecosistemas digitales integrados que permitieran una toma de decisiones proactiva. El estudio se estructuró bajo un enfoque de investigación tecnológica y descriptiva, cuyo propósito fue el diseño y la validación de un modelo digital basado en BIM 4D e Inteligencia Artificial (IA) para la supervisión técnica de obras civiles.

El núcleo metodológico residió en la convergencia de tres fases fundamentales: la configuración de la línea base BIM 4D, el desarrollo de una arquitectura integrada de datos y la construcción de tableros de control (dashboards) para la visualización de la información. Para tal fin, el proceso investigativo se desplegó en etapas secuenciales que comprendieron desde la recopilación de información y la creación de protocolos, pasando por el entrenamiento de un Chatbot y la visualización para el reconocimiento del avance físico, hasta la implementación de sistemas de procesamiento de lenguaje natural (NLP) mediante IA, lo cual aseguró una parametrización en la respuesta automática.

Este camino metodológico no solo buscó la automatización técnica, sino la creación de un flujo de información bidireccional: del sitio de obra al modelo digital, mediante la actualización de información en campo; y del modelo al gerente de proyectos, a través de dashboards interactivos. En las secciones posteriores, se detallaron las fases, herramientas y técnicas que garantizó la trazabilidad, confiabilidad y procedencia de la información, permitiendo que las respuestas bajo su configuración inicial se delimitaran únicamente a informar la lógica de la secuencia programada del proyecto y asegurar el éxito en la visualización de la información.

Figura 4 - Estructura de fases del proyecto.



Fuente: Elaboración propia

La anterior imagen representa las tres fases en las cuales se desarrolló el proyecto, las cuales fueron fase 1 que es la configuración de la línea base BIM 4D, fase 2 la arquitectura integrada de datos y fase 3 la construcción de dashboard. Cada fase contuvo sus etapas que se relacionaron directamente entre ellas para la óptima ejecución del proyecto.

3.1. Recopilación de la información para base de datos

En esta etapa del trabajo de grado se recopiló la información que constituyó un proceso fundamental dentro del modelo digital de gestión de avance, ya que permitió alimentar el sistema con datos simulados que se presentan en la ejecución de obra.

El proyecto seleccionado para la presente investigación se basó en la construcción de una cubierta en estructura metálica que comprendió los capítulos indicados en la tabla 1. Estos

capítulos fueron escogidos con un criterio el cual nos permitió abarcar la mayoría de las actividades que son comunes generalmente en obra, esto nos permitió simular un escenario óptimo, logrando un alcance ideal para el modelo definido en BIM 4D.

Tabla 1 - Capítulos Del Proyecto

ITEM	CAPITULO
1,0	Preliminares
2,0	Excavaciones Y Rellenos
3,0	Concretos Y Cimientos
4,0	Estructura Metálicas Y Cubierta
5,0	Redes Hidrosanitarias
6,0	Instalaciones Eléctricas
7,0	Obras Varias

Fuente: Elaboración propia

Es importante resaltar que cada capítulo estuvo comprendido por varias actividades que por organización del documento se podrán ver en el anexo 1. Por otra parte, se definió el cronograma de ejecución establecido en una línea de tiempo ideal basados en las actividades indicadas en la tabla 1, que se podrán observar en el anexo 2. Finalmente se integra esta información para la estructuración del modelo 4D.

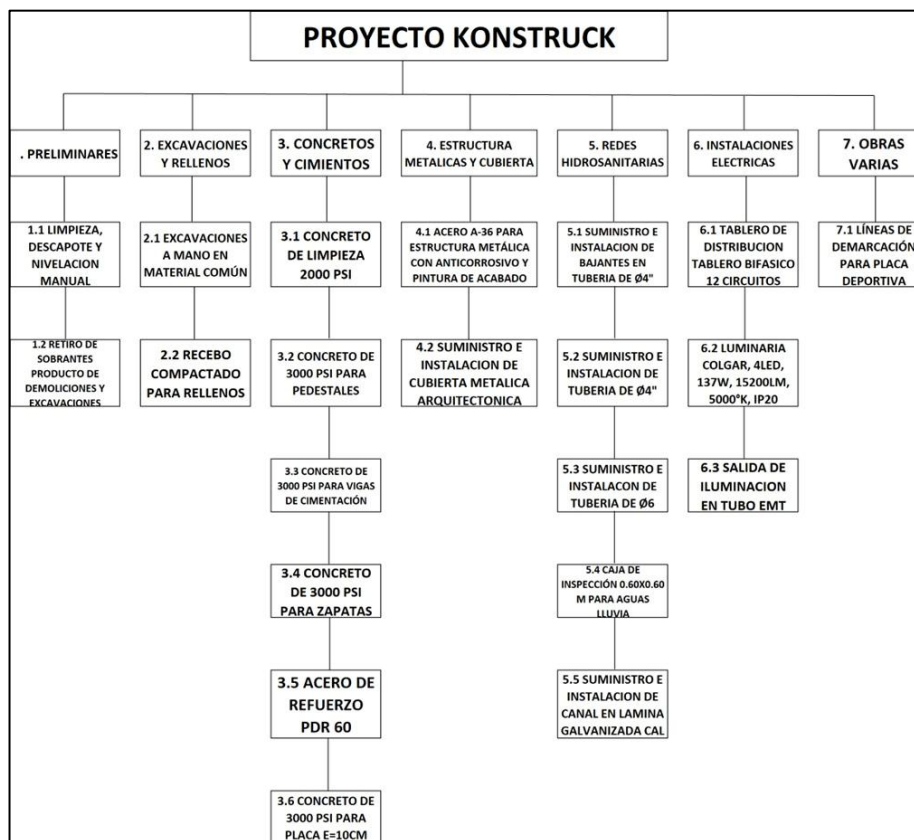
3.1.1. Definición de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT)

La estructura de desglose del trabajo (EDT) constituyó la base para la organización del *capítulo 3.1 recopilación de información para base de datos*. Inicialmente, se definió las actividades con base en el alcance del proyecto mencionado en el capítulo correspondiente a la recopilación de información para la base de datos.

Para tal fin, se realizó el desglose de las actividades que formaron parte de cada capítulo, tal como se observó en la figura 5, con el propósito de descomponer el alcance del proyecto en

componentes más pequeños. Este procedimiento facilitó la planificación, el control y la posterior asignación de recursos dentro del marco investigativo.

Figura 5- Estructura de desglose de trabajo (EDT)



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 5, a través de la ejecución de la EDT, se definió la secuencialidad de las actividades de tal manera que permitió optimizar los tiempos de cumplimiento de manera paralela determinando que actividades eran antecesoras y predecesoras. De esta manera se logró establecer una correspondencia directa entre las actividades del proyecto, el cronograma y el modelo BIM 4D, lo cual facilitó la integración de la información en el modelo digital de gestión de avance (MDGA).

3.1.2. Estructuración del cronograma de trabajo

En esta etapa del proyecto se tomó en cuenta el desarrollo del cronograma a partir de la EDT mediante la definición de actividades antecesoras y predecesoras, el cual permitió determinar la secuencia óptima de estas y la duración total del proyecto. El tiempo de ejecución del proyecto se estableció asignando una duración óptima para cada actividad en el cronograma logrando así la gestión del tiempo en cada capítulo, ya que permitió planificar, coordinar y controlar el desarrollo eficiente de las actividades programadas.

En esta parte de la investigación, el cronograma se integró con el modelo BIM 4D, lo cual permitió visualizar la ejecución del proyecto en el tiempo y analizar la secuencia constructiva. Además, el cronograma se articuló con las fases metodológicas del MDGA, y se estableció una relación entre la planificación del proyecto y el proceso de captura y análisis de datos.

Por otra parte, esta integración permitió comparar el avance real con el planificado, identificar desviaciones en el cronograma y optimizar el uso de recursos, con lo cual se mejoró significativamente la gestión del avance del proyecto con el modelo BIM.

Tabla 2 - Cronograma por capítulos

ITEM	CAPÍTULOS	DURACIÓN	INICIO	FIN
1	Preliminares	13	1/02/2026	14/02/2026
2	Excavaciones y rellenos	62	1/02/2026	4/04/2026
3	Concretos y cimientos	69	15/02/2026	25/04/2026
4	Estructuras metálicas y cubierta	83	1/03/2026	23/05/2026
5	Redes hidrosanitarias	55	22/03/2026	16/05/2026
6	Instalaciones eléctricas	20	3/05/2026	23/05/2026
7	Obras varias	13	12/04/2026	25/04/2026

Fuente: Elaboración propia.

La tabla presentada enumera siete capítulos de obra con sus respectivas columnas de "DURACIÓN", "INICIO" y "FIN". En este esquema de ejemplo, las fechas de inicio y finalización

de cada capítulo se calcularon y determinaron a partir de su duración específica, estableciendo así un cronograma inicial. Es importante aclarar que las fechas de inicio fueron seleccionadas de manera aleatoria con el único propósito de ilustrar y generar este ejemplo práctico de programación.

3.2. Estructuración del modelo BIM 4D

Esta parte de la metodología actuó como la columna vertebral de la investigación, ya que se estableció el ecosistema de datos necesario para la validación del Chatbot y el flujo de información en tiempo real. La estructuración no se limitó a una representación gráfica, sino que se definió como una base de datos espacial y temporal, y se integró la modelación 3D con el cronograma previamente establecido y de esta manera se desarrolló el modelo BIM 4D.

Para garantizar la fiabilidad de las pruebas de integración con la inteligencia artificial, se diseñó un escenario controlado basado en información técnica estructurada con datos simulados. Esta decisión metodológica se fundamentó en la necesidad de validar la arquitectura de interoperabilidad del ecosistema digital en un entorno libre de ruidos operativos, asegurando que la trazabilidad de los datos desde el reporte en el Chatbot hasta la actualización del modelo 4D y los dashboards sea técnicamente íntegra.

El uso de este entorno controlado fue suficiente para los alcances de esta investigación, ya que permitió analizar de manera exhaustiva un conjunto seleccionado de actividades críticas. Esta simulación funcionó como un modelo piloto a escala técnica, estableciendo la línea base conceptual y operativa necesaria para una futura implementación en proyectos de mayor envergadura y complejidad.

Al parametrizar estos datos ficticios bajo estándares reales del sector de la construcción y se garantizó que la lógica de validación sea escalable y replicable, mitigando riesgos de pérdida de información antes de su despliegue en entornos de obra reales.

3.2.1. Creación modelado 3D

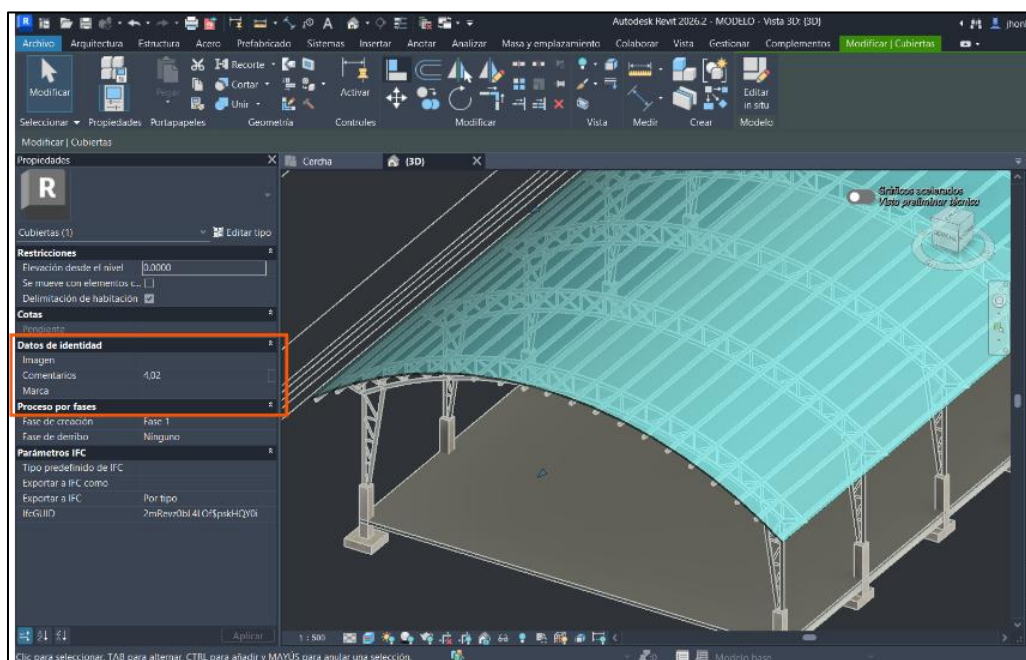
En esta fase del modelado 3D no se pensó únicamente como una representación geométrica, sino como una base de datos diseñada para la gestión de obra. El proceso se estructuró bajo los siguientes criterios técnicos:

- **Vinculación con la estructura de desglose de trabajo (EDT):** El modelo 3D se desarrolló tomando como base principal la EDT previamente establecida. Esta metodología garantiza que cada elemento de obra como (columnas, vigas, zapatas, cerchas, losas) tenga una relación recíproca con las actividades del cronograma.

- **Parámetros de texto identificadores:** Para facilitar la lectura por parte del chatbot, se suministró en cada objeto un parámetro de texto específico denominado ID_EDT. Este código coincidió con la nomenclatura del cronograma y permitió que el motor de IA identifique el elemento de forma eficiente sin errores de interpretación semántica.

Como parte del desarrollo de la arquitectura integrada de datos, se realizó la parametrización de los elementos estructurales dentro del software de modelado Autodesk Revit. En la figura 6, se observa el proceso de asignación de metadatos a los componentes de la cubierta y cerchas metálicas, donde se utilizó el panel de propiedades para establecer una conexión directa entre el modelo tridimensional y la planificación del proyecto.

Figura 6- Parámetro específico por elemento de modelado 3D



Fuente: Elaboración propia usando herramienta Revit

La anterior imagen representa la identificación de cada elemento constructivo que configuro el modelo 3D, el cual se identificó cada actividad según el ID definido en la EDT.

- **Selección de herramientas y metodología de modelado:** Se seleccionó Autodesk Revit como plataforma de autoría BIM debido a su cobertura en la gestión. Esta herramienta permitió la personalización de parámetros compartidos, una funcionalidad esencial para garantizar la interoperabilidad de la información y la estructuración de datos requerida por el modelo digital propuesto.

Su capacidad para integrar dimensiones técnicas y temporales facilitó la convergencia entre el diseño tridimensional y la planificación de obra, permitiendo que cada elemento modelado actuara como un nodo de información confiable para las fases posteriores de análisis y visualización automatizada.

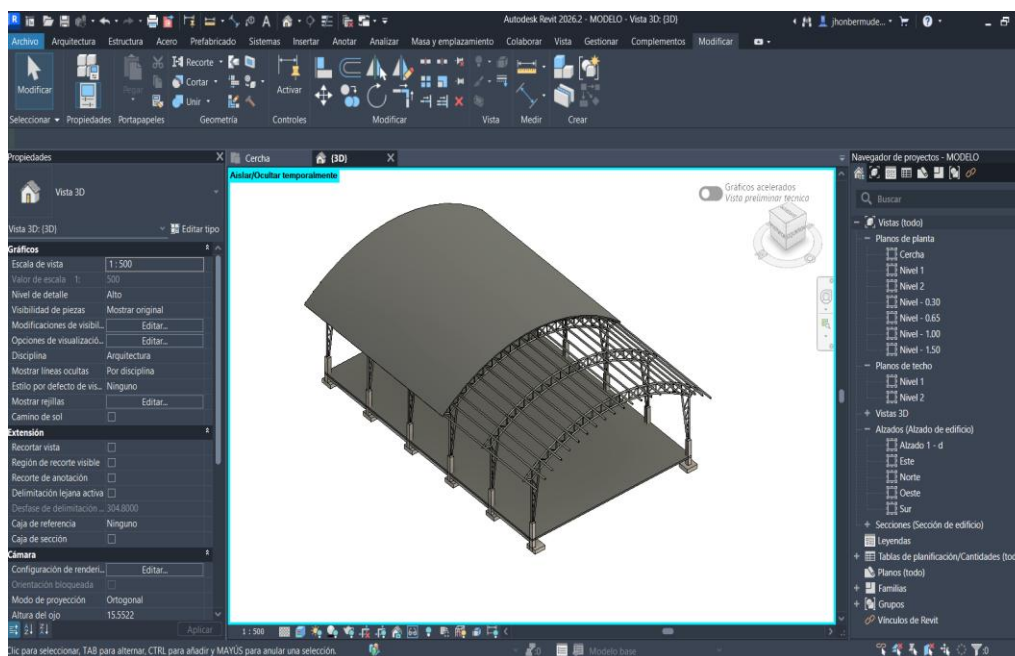
- **Lógica de modelado 3D:** La construcción del modelo digital se rigió por una lógica de replicación del proceso constructivo real, con el fin de asegurar la coherencia entre la representación virtual y la ejecución técnica. Para ello, se llevó a cabo una fragmentación de los elementos estructurales y arquitectónicos mediante una segmentación por niveles y fases, permitiendo que la jerarquía del modelo coincidiera con la secuencia lógica de la obra.

Este enfoque garantizó que cada componente modelado funcionara como un reflejo fiel del avance físico, facilitando la correspondencia exacta entre las unidades de obra capturadas en campo y su representación en el entorno BIM 4D

- **Estrategia de interoperabilidad (formato IFC):** Se estableció un protocolo de exportación de datos bajo el estándar internacional IFC (*Industry Foundation Classes*), con el objetivo de garantizar la escalabilidad del sistema y eliminar la dependencia de entornos de software propietarios. La implementación de este estándar abierto permitió que el modelo digital trascendiera las limitaciones de las plataformas de autoría originales, asegurando que la lectura y el reconocimiento de los objetos fueran universales.

Mediante el uso de archivos IFC, se facilitó la integración fluida con bases de datos externas y visualizadores en la nube dashboards. Esta estrategia fue fundamental para la arquitectura del sistema, ya que permitió que los datos capturados y procesados por el Chatbot pudieran ser contrastados de forma precisa con los componentes del modelo. De este modo, se aseguró la integridad de la información en el flujo de trabajo y se fortaleció la capacidad del ecosistema digital para procesar actualizaciones de avance físico en un entorno interoperable.

Figura 7 - Modelado 3d en Revit



Fuente: Elaboración propia usando herramienta Revit.

En la anterior imagen se observa la visualización de la interfaz del software Autodesk Revit en la que se observa una vista 3D del proyecto, donde se aprecia la cubierta como la estructura interna de cerchas metálicas, evidenciando el nivel de detalle alcanzado en el modelo digital para la coordinación de las propiedades y secciones necesarias para la correcta estructuración de la información del modelo, facilitando así la navegación y la gestión de datos dentro del entorno de diseño.

3.2.2. Integración de dimensión 4D

En esta etapa se consolidó el modelo BIM 4D, sincronización espacio-tiempo y se integró la base de datos geométrica (3D) con la planificación temporal del proyecto y se desarrolló un entorno digital donde cada objeto del modelo interprete exactamente cuándo debe ser construido y permita contrastar dicha planificación con el reporte generado por el Chatbot. Para lograr una integración secuencial se realizó los siguientes procesos:

- **Vinculación del cronograma:** Se procedió a la importación y vinculación del cronograma de ejecución, el cual fue estructurado previamente mediante la herramienta de programación Microsoft Excel. Este proceso de integración permitió establecer la secuencia temporal del proyecto dentro del entorno digital, asegurando la correspondencia entre la planificación técnica y la base de datos de actividades.

Dicha estructuración previa en hojas de cálculo facilitó la organización de los capítulos y sus duraciones, proporcionando la lógica necesaria para alimentar el modelo BIM 4D. Esta vinculación fue fundamental para habilitar el contraste automatizado entre la programación inicial y el avance físico reportado, lo cual permitió que el sistema de gestión contara con una línea base temporal sólida para la generación de indicadores de desempeño.

- **Correspondencia de actividades:** La clave de esta integración residió en la coincidencia exacta entre el código de la EDT presente en el cronograma y el parámetro ID_EDT suministrado en los elementos de Revit. Esta relación permitió una vinculación automatizada, se evitó errores manuales y se garantizó que el 100% de los elementos modelados tuvieran una asignación en tiempo.

- **Configuración de reglas de simulación:** Para que el modelo 4D sea una herramienta de gestión efectiva, se definió dos reglas para los objetos durante la simulación los cuales son estados de construcción donde se configuraron perfiles visuales que distinguen entre los elementos planificados, lo que debería estar pasando según el cronograma y los elementos reales lo que el Chatbot reportó desde la obra. Y análisis de secuencialidad que permitió la integración 4D verificando la lógica constructiva que hace referencia al orden lógico y obligatorio en el que se ejecutaron las actividades de obra.

- **Preparación del entorno para la interfaz IA:** El modelo 4D resultante actuó como el servidor de datos para el componente de inteligencia artificial. El sistema se configuró para que el Chatbot pueda extraer fechas de inicio y fin temprano/tardío de cualquier actividad. De esta manera, facilitó la interacción entre el usuario y el Chatbot, y se creó un entorno más efectivo.

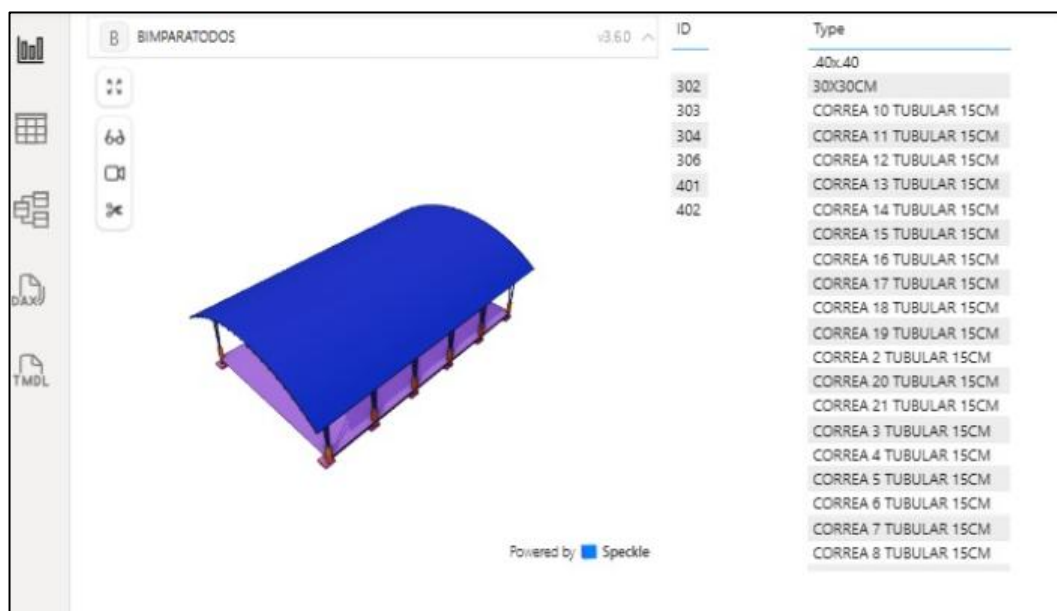
- **Herramientas de integración Speckle:** Con el fin de validar la versatilidad del modelo 4D y asegurar su capacidad de respuesta ante las consultas del Chatbot, se integró Speckle como la infraestructura central para la gestión y visualización de objetos de datos. Esta herramienta fue seleccionada para superar las limitaciones de los entornos de revisión tradicionales y cerrados, lo cual permitió la transición de un modelo estático a un ecosistema de datos dinámico y accesible. El uso de Speckle dentro del marco metodológico se fundamentó en los siguientes criterios técnicos:

Extracción y Desacoplamiento de Datos: Se empleó la plataforma para extraer de manera selectiva la geometría y los metadatos provenientes de Revit, transformándolos en flujos de datos estructurados en una base de datos web.

Accesibilidad mediante API: La integración permitió que los parámetros del modelo estuvieran disponibles a través de una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API), lo cual fue el factor habilitante para que el Chatbot pudiera realizar consultas en tiempo real sobre las propiedades del modelo 3D/4D.

Generalidad de la Información: Al actuar como un servidor de datos en la nube, Speckle garantizó que la información técnica del proyecto fuera consultable desde cualquier dispositivo móvil. Esto eliminó la necesidad de utilizar software de diseño especializado en campo, asegurando una comunicación fluida y la democratización de la información técnica para la supervisión de la obra.

Figura 8 - Vinculación modelo 3d y Speckle



Fuente: Elaboración propia usando herramienta Speckle

En la anterior imagen se observa la visualización del proyecto vinculado al software Speckle dentro del entorno Power BI para representar el time line de la ejecución acorde al cronograma.

3.3. Configuración e integración del componente de procesamiento del lenguaje natural

En este capítulo se detalló la arquitectura lógica y técnica que permitió la interacción entre el usuario en campo y el ecosistema BIM. El desarrollo se centró en la implementación de capacidades de procesamiento de lenguaje natural, con el fin de interpretar la narrativa técnica de los reportes de obra y se transformó en datos estructurados de alta precisión para la gestión de avance físico.

3.3.1. Definición de herramienta para desarrollo de Chatbot:

Para la estructuración del flujo de trabajo Workflow del asistente inteligente, se seleccionó N8N como plataforma de organización técnica. Para la estructuración del flujo de trabajo del

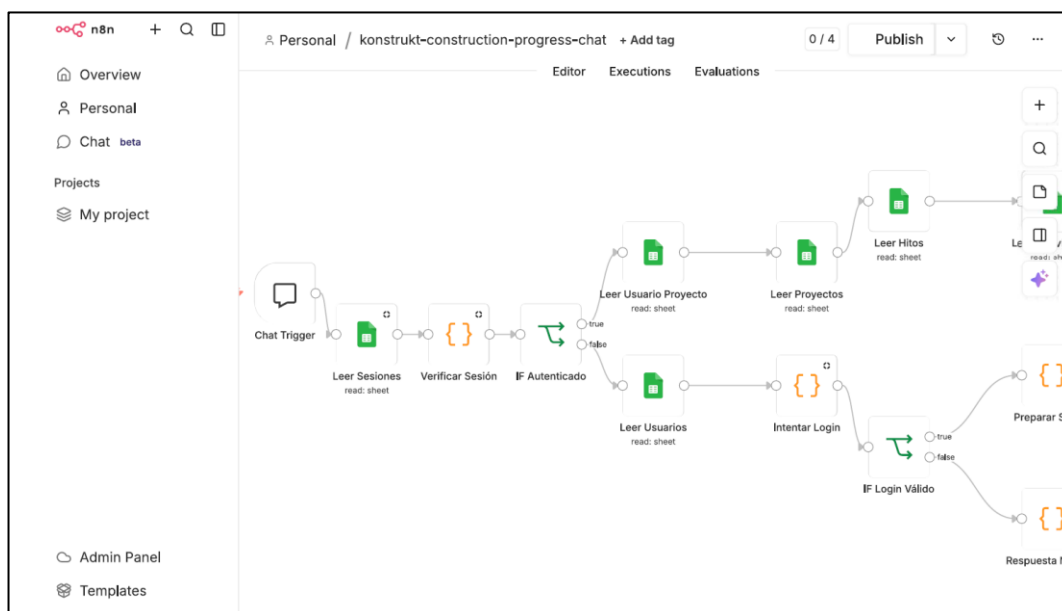
asistente inteligente, se seleccionó N8N como la plataforma de organización técnica y automatización de procesos. Esta elección se justificó mediante tres factores fundamentales como la interoperabilidad mediante nodos de bajo código, el procesamiento de lenguaje y la autonomía y gestión de datos. La implementación de esta plataforma permitió centralizar la lógica del sistema, con lo cual se garantizó que la captura, validación y procesamiento de la información se ejecutara bajo protocolos de seguridad y trazabilidad técnica.

- **Interoperabilidad mediante Nodos de bajo código:** N8N permitió conectar de forma nativa diversas APIs como la de Speckle para los datos BIM para la interfaz del usuario. Su estructura visual facilitó la trazabilidad del dato desde que sale del chat hasta que llega al modelo 4D. y así mismo permitió una manipulación avanzada de archivos JSON y peticiones HTTP, facilitando la conexión directa entre la API del Chatbot y el entorno de datos de Power BI y modelos BIM.

- **Procesamiento de lenguaje natural (NLP):** A través de nodos de IA integrados (como cadenas de Lang Chain), N8N permitió conectar modelos de lenguaje de gran escala (LLMs) para interpretar los reportes de obra. Esto logró que el sistema entienda que "vaciamos las zapatas del eje A" se refiere específicamente a un ID_EDT definido en el Capítulo 3 del presente documento.

- **Autonomía y gestión de datos:** Al ser una herramienta que permite el Self-hosting, garantizó la privacidad de la información del proyecto y permitió manejar grandes volúmenes de datos (JSON) de forma eficiente, ideal para la sincronización con los modelos 4D probados en Speckle.

Figura 9 - Workflow en N8N



Fuente: Elaboración propia usando herramienta Speckle

En la anterior imagen se presenta un resumen de la interfaz, generada a través de una secuencia lógica del flujo del trabajo, se inició con el disparador de chat, y se conectó entre las diferentes herramientas de N8N con lo cual se generó mejor fluidez y recorrido. Para mejor interpretación de los enlaces que conectan el flujo se presenta el Anexo 3.

3.3.2. Estructuración y configuración del flujo de trabajo

En esta sección se describe la arquitectura del flujo lógico desarrollado en N8N, el cual opera como el motor de integración entre el lenguaje natural del usuario y los repositorios de información técnica. A continuación, se describe la estructura del flujo.

- **Nodo de entrada (trigger) interfaz de captura y activación:** El Nodo de Entrada que es el punto de inicio del flujo de automatización se utilizó el trigger nativo de N8N y su función principal es permanecer en estado activo para detectar cualquier interacción del usuario desde la obra y capturar los metadatos necesarios para el procesamiento posterior.

El proceso comienza con el nodo Chat Trigger, que sirve como la interfaz de comunicación con el usuario. Inmediatamente, el sistema activa una sub-rutina de seguridad y validación de sesión, el nodo leer sesiones consulta la hoja "sesiones" en Google Sheets y el nodo verificar sesión mediante JavaScript determina si el session_ID actual es válido y si ha transcurrido menos de 8 horas desde el último acceso.

Lógica de acceso: Si el usuario no está autenticado, el flujo se bifurca hacia leer usuarios e intentar iniciar. Este último nodo analiza si el mensaje del usuario es un saludo o una contraseña; si es una credencial válida, el nodo guardar sesión registra el nuevo acceso en la base de datos y activa el mensaje de bienvenida.

- **Estructuración y preparación de contexto técnico:** Se utilizó un nodo de tipo Webhook específico de mensajería de N8N. Este nodo generó una URL única que recibió las solicitudes HTTP cada vez que el residente envía un reporte. Una vez superada la barrera de seguridad, el flujo entra en una fase de recolección masiva de datos técnicos. Se ejecutaron cuatro consultas simultáneas a través de nodos de Google Sheets para obtener la información de: Usuario, proyecto, actividades y reportes.

- **Procesamiento de datos en el nodo:** Este es el núcleo algorítmico del flujo, se utilizó código JavaScript para normalizar los datos y se definió métricas de ingeniería de manera dinámica. El sistema calculó el avance programado comparando la fecha actual con las fechas de inicio y fin estimadas de cada actividad.

- Además, genero indicadores de desempeño como el SPI, el porcentaje de actividades vencidas y el índice de cumplimiento, consolidando todo en una cadena de texto técnica que servirá de contexto para la IA.

- **Inteligencia artificial y procesamiento de lenguaje natural:** El componente de inteligencia artificial implementado en el sistema corresponde a un Modelo de Lenguaje Grande (LLM) accedido mediante API, específicamente el modelo Claude Haiku, integrado a través de un nodo LLM Chain. Este modelo fue configurado mediante reglas estrictas de procesamiento que le permiten interpretar reportes de campo expresados en lenguaje natural y transformarlos en datos parametrizados estructurados.

Entre las directrices de configuración destacan el procesamiento secuencial de una actividad a la vez y la distinción semántica entre avances absolutos y relativos —por ejemplo, diferenciando expresiones como "avanzamos un 20%" frente a "estamos al 40%"—, así como la aplicación de un formato de respuesta estandarizado y obligatorio. Esta capacidad de comprensión y estructuración del lenguaje natural constituye el núcleo funcional del sistema, dado que posibilita la extracción automática de información relevante a partir de comunicaciones no estructuradas propias del entorno de obra.

Generación de Acciones: Si el usuario solicita un cambio (como reportar avance), la IA generará un bloque de código estructurado bajo la etiqueta [ACTION], que contiene los parámetros necesarios para actualizar la base de datos (ID de actividad, porcentaje de avance, notas y fechas).

- **Ingreso de datos y contextualización (cronograma en Excel):** Para que el chatbot posea un contexto real del proyecto, se cargó una base de datos maestra en formato Google Sheets/Excel vinculada al nodo de N8N. Dicha base de datos contiene una serie de tablas en las cuales se encuentran el cronograma por capítulo y actividades, las fechas programadas, reportes y los IDs de vinculación.

- **Procesamiento de IA:** El procesamiento de la información se fundamentó en la integración de modelos de lenguaje de gran escala (LLM) vinculados a la plataforma N8N, los

cuales permitieron la interpretación técnica de los mensajes recibidos a través del chatbot mediante la extracción automatizada de entidades.

Este componente de inteligencia artificial identificó variables críticas dentro de la narrativa del reporte, tales como la actividad específica, su ubicación física y el porcentaje de avance reportado, transformando el lenguaje no estructurado en datos cuantitativos.

Posteriormente, el sistema ejecutó un protocolo de validación donde n8n contrastó dichas variables con la base de datos maestra estructurada en Excel, asegurando la integridad y consistencia de la información antes de proceder con cualquier actualización en el ecosistema digital del proyecto.

- **Ejecución de acciones y persistencia de datos:** La etapa final se encargó de la ejecución física de las instrucciones de la Inteligencia Artificial, iniciando con el nodo de acción, el cual permitió separar el mensaje de texto visible para el usuario de los datos técnicos de la operación. Posteriormente, mediante el nodo de enrutamiento de datos y dependiendo del tipo de intención detectada (como reportar_avance o actualizar_actividad), el flujo se dirigió de manera automatizada a la tabla correspondiente del sistema.

Asimismo, a través del nodo de actualización de bases de datos para reportes de avance, el sistema actualizó simultáneamente la tabla de "actividades" modificando el porcentaje total y el estado y la tabla de "reportes", creando un historial cronológico del progreso diario. En los casos donde el avance alcanzó el 100%, el sistema marcó automáticamente la actividad como "finalizada" y registró la fecha de fin real.

Este flujo garantizó que cada interacción del usuario solo generara una respuesta conversacional, sino que alimentara automáticamente el sistema de información, manteniendo los

indicadores clave de desempeño (KPIs) del proyecto actualizados sin intervención manual de un analista de datos.

Tabla 3 - Diagrama del flujo de trabajo

CAPA	TECNOLOGÍA	ROL
Interfaz de usuario	n8n Chat Trigger (web embebido)	Canal de conversación accesible por URL
Orquestador	n8n (self-hosted / cloud)	Coordinación del flujo, lectura/escritura de datos
Base de datos	Google Sheets	Almacenamiento estructurado de proyectos, actividades y reportes
Modelo de lenguaje	Claude Haiku 4.5 (Anthropic)	Procesamiento del lenguaje natural y generación de respuestas
Autenticación	Sistema propio basado en sesiones	Control de acceso por rol (admin, ingeniero/arquitecto, cliente)

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. *Power BI*

Esta sección de la metodología describió el proceso técnico de consolidación del ecosistema digital, donde se vinculó la información inicial del proyecto, el cronograma de obra y los datos provenientes del Chatbot para la gestión del proyecto y poder vincularse con Power BI.

- **Integración del Modelo 4D y Visualización de KPIs en Dashboard de Power BI:** La Integración del modelo BIM 4D y dashboards de control analítico en Power BI, la fase de visualización, análisis y control del proyecto dentro de la metodología MDGA (Modelo Digital de Gestión de Avance) se consolidó mediante un entorno de inteligencia en Power BI.

Este entorno actuó como el núcleo integrador donde convergen la información técnica (BIM 3D), la planificación temporal (4D) y el registro dinámico de campo recolectado por el

chatbot. A continuación, se detalla el proceso de interoperabilidad, vinculación de datos y la estructuración del cuadro de mando (dashboard).

Interoperabilidad geométrica a través de Speckle: Para superar las barreras tradicionales de visualización de modelos BIM en herramientas de análisis de datos, se implementó Speckle como plataforma de gestión de datos de ingeniería e interoperabilidad de código abierto. Los componentes tridimensionales del diseño (arquitectónico y estructural) se exportaron desde el software de modelado nativo hacia la nube de Speckle mediante uso de datos jerárquicos.

- **Integración en Power BI:** Mediante el conector de datos y el visualizador personalizado Speckle Power BI Visual, se importó el modelo al reporte utilizando la URL dinámica del repositorio. Esto permitió una representación geométrica interactiva en la que cada elemento conservo sus atributos analíticos y su identificador único global (ID).

Estructuración Temporal y Enlace 4D: La dimensión temporal (4D) se generó mediante la vinculación lógica de los elementos tridimensionales con el cronograma de ejecución del proyecto, se estableció un modelo de datos dentro de Power BI que conecta las tablas de objetos de Speckle con la base de datos del cronograma (tareas, predecesoras y dependencias).

Los elementos constructivos se enlazaron a sus respectivas tareas mediante códigos de actividad específicos, permitiendo así la simulación de secuencias constructivas y la segmentación temporal de la geometría directamente en el reporte.

- **Diseño del Dashboard analítico y KPIs de gestión de avance:** El dashboard en Power BI se diseñó bajo un enfoque orientado a la toma de decisiones gerenciales en proyectos de construcción. Este panel interactivo tradujo los datos planos de avance en indicadores visuales de rendimiento a través de los siguientes componentes analíticos como lo son:

Índice de Desempeño del Cronograma SPI que mide la eficiencia del tiempo de ejecución del proyecto mediante la relación entre el avance real y el planificado. La visualización se logró mediante la línea que representa el avance acumulado programado versus el avance acumulado real, mientras que las columnas detallan el porcentaje de ejecución específico que se registró en cada periodo de evaluación.

Comparativo de actividades ejecutadas vs programadas lo que permitió contrastar de manera directa las metas semanales o mensuales planificadas frente al cumplimiento real de las actividades. Para la visualización de este indicador se utilizó un gráfico de columnas agrupadas o de barras horizontales, lo que facilitó la identificación rápida de aquellas tareas que se encuentran rezagadas o con holguras negativas.

Sincronización y actualización dinámica del ecosistema: El valor diferencial del dashboard radica en su interconexión con el agente conversacional Chatbot implementado en el flujo metodológico. El usuario reporta el avance diario a través del Chatbot. Esta información es capturada, estructurada y enviada mediante automatizaciones de N8N hacia la base de datos que alimenta Power BI.

Actualización en Tiempo Real: Al refrescarse el dashboard, las tablas internas se actualizan de forma automática recalculando el SPI y los avances de obra.

Interactividad Cruzada: Al interactuar con cualquiera de las gráficas de KPIs (por ejemplo, al hacer clic en la barra de "Actividades Retrasadas"), el visualizador de Speckle filtra de forma simultánea el modelo 3D, coloreando o aislando en pantalla únicamente aquellos elementos físicos del proyecto que presentan desviaciones en su ejecución. Esto proporciona al gerente de obra una visión analítico-espacial de alta precisión.

3.4. Lógica del proceso del reporte

Una vez se estructuro el flujo de trabajo, el proceso de actualización se fundamentó en una alimentación multidireccional de datos mediante N8N, la cual ejecutó de forma simultánea la sincronización del estado de avance en el modelo 4D a través de Speckle y el registro histórico en tablas de seguimiento detallado.

Esta arquitectura técnica se cerró con un nodo de respuesta que actuó como un bucle de retroalimentación (feedback loop), lo cual proporcionó confirmaciones transaccionales al usuario, gestionando excepciones lógicas mediante rutas de aclaración y notificando el impacto directo en el cronograma. Finalmente, la metodología integró estos flujos de información con la plataforma Power BI, lo cual permitió la visualización automatizada de indicadores clave de desempeño (KPIs) y garantizo que cada interacción desde el sitio de obra alimentara en tiempo real el sistema de toma de decisiones gerenciales. A, continuación se describe a detalle el proceso

- **Alimentación multidireccional de datos:** Una vez validado el reporte, el flujo de N8N ejecuta una actualización simultánea en dos frentes los cuales fueron actualización BIM (Speckle) y alimentación de tablas de seguimiento, el primer frente envió el nuevo estado de avance al modelo en la nube para la visualización 4D y el segundo frente insertó una nueva fila de registro en una tabla de avance real (Excel/Google Sheets). Esta tabla actuó como el "log" histórico de todo lo sucedido en la obra, registrando fecha, usuario, actividad y porcentaje completado.

- **Nodo de respuesta, validación y retroalimentación de campo:** El nodo de respuesta en N8N actuó como el mecanismo de cierre del flujo (Feedback Loop). Su función principal fue confirmar al usuario que el dato ha superado los filtros de validación y ha sido integrado exitosamente en el ecosistema digital (Excel, Speckle y Power BI).

Confirmación transaccional: El Chatbot devuelve un resumen de lo procesado. Por ejemplo: "Reporte exitoso: Se ha registrado un avance del 100% en la actividad (ID_3,04 Concretos de 3000 Psi para Zapata). El reporte se registró exitosamente y/o han sido actualizados. Esto le da al usuario la seguridad de que su reporte tuvo un efecto real.

Gestión de errores y excepciones: Si el mensaje del usuario es ambiguo o el código de la EDT no existe en la base de datos de Excel, el nodo de respuesta activa una ruta de aclaración. En lugar de fallar, el Chatbot responde: "No logré identificar la actividad 'viga de techo'. ¿Te refieres a la actividad 3.03? concreto de 3000 Psi para vigas de cimentación? Por favor, confirma el código o nombre exacto".

Notificación de Impacto en el Cronograma: Una función avanzada de este nodo es informar sobre la salud del proyecto. Al comparar el reporte actual con la línea base del Excel, el Chatbot puede responder: "Tu reporte se ha registrado exitosamente".

- **Visualización de Indicadores (Power BI):** La fase final de la arquitectura metodológica consistió en la implementación de una capa de visualización avanzada mediante Power BI, diseñada para transformar los datos transaccionales recolectados en campo en información estratégica. Este componente actuó como el tablero de mando integral, permitiendo la supervisión técnica proactiva basada en evidencia objetiva. El desarrollo de este subcapítulo se fundamentó en los siguientes procesos técnicos:

Generación de KPIs: Se desarrollaron medidas personalizadas utilizando el lenguaje de Power BI para calcular indicadores clave de desempeño (KPIs), tales como el SPI, el porcentaje de avance físico acumulado y programado. Al estar las tablas alimentadas en tiempo real por n8n, el Dashboard de Power BI se actualiza automáticamente.

Diseño de Dashboards Interactivos: Se diseñaron paneles visuales que integraron gráficos de Gantt dinámicos, mapas de calor por actividades. Estos tableros permitieron realizar filtros multivariantes (por fecha, tipo de actividad), facilitando la identificación inmediata de retrasos y desviaciones respecto a la programación inicial.

Esta integración final cerró el ciclo del ecosistema digital, demostrando que la combinación de BIM 4D, automatización y analítica de datos incrementa significativamente la eficiencia en la supervisión técnica de la ejecución en obra.

4. RESULTADOS

El presente capítulo expone y analiza de manera sistémica los hallazgos derivados de la implementación del Modelo Digital de Gestión de Avance (MDGA). El propósito fundamental de esta sección fue validar la eficacia del agente digital diseñado para la gestión de avance de obras civiles, demostrando cómo la integración entre la metodología BIM 4D, y Power BI alineado con el Chatbot a través de la Inteligencia Artificial (IA) resuelve la fragmentación de los datos reportados en campo de métodos de control tradicionales con modelos digitales.

4.1. Resultados de la Consolidación de Información

como resultado directo de la fase de recopilación de información, se logró la centralización de datos simulados pero realistas de las actividades que compone la ejecución del proyecto que es la construcción de una cubierta metálica.

El principal hallazgo en esta etapa fue la validación de un inventario técnico de siete capítulos de obra que están descritos en la Tabla 1, los cuales sirvieron como los cimientos de datos para la alimentación del sistema MDGA.

Este proceso de recopilación no solo fue un ejercicio de recolección, sino que permitió establecer el alcance ideal para la simulación 4D, garantizando que el modelo digital representara actividades críticas y comunes en la ejecución de obras civiles, facilitando así la interoperabilidad entre los datos capturados en campo y la digitalización de dichos datos.

4.1.1. Impacto de la EDT en la organización del modelo

La ejecución de la estructura de desglose del trabajo (EDT) arrojó como resultado una jerarquía lógica de actividades que permitió descomponer la complejidad del. Los resultados clave de esta etapa permitió definir y analizar las actividades antecesoras y predecesoras necesarias para

alinearse y garantizar el cumplimiento del cronograma, de tal manera que al momento de parametrizarlo y ser leído por el agente digital genere una correspondencia del 100% entre la planificación y la geometría del modelo.

4.1.2. El cronograma como eje de la cuarta dimensión

La estructuración del cronograma que está descrita en Tabla 2 del presente documento en el capítulo 3.1.2 *estructuración cronograma del trabajo*, dio como resultado que el factor tiempo fue determinante para la gestión del avance. Al transformar la lista de actividades en una línea de tiempo con duraciones específicas se obtuvieron los resultados para establecer la línea base de comparación mediante el escenario óptimo de ejecución que permitió a futuro medir las desviaciones en el modelo digital con relación a la programación del proyecto.

4.2. Estructuración del modelo BIM 4D

Los resultados obtenidos de la estructuración del modelo BIM 4D consolidaron la base operativa del sistema MDGA, logrando la transición exitosa de un modelo tradicional a una base de datos dinámica capaz de interactuar con el ecosistema de IA. Los hallazgos se desglosan en los siguientes componentes clave:

4.2.1. Consolidación del ecosistema de datos de interoperabilidad

En esta sección del trabajo se logró la integración de la geometría tridimensional con las variables temporales del cronograma de obra, resultando en un modelo 4D parametrizado. Este proceso permitió que cada elemento del modelo contara con identificadores únicos vinculados a actividades específicas del cronograma.

El resultado principal fue la creación de una arquitectura de datos donde la información fluye de manera bidireccional: desde la entrada de datos en el Chatbot hacia el entorno BIM, permitiendo una visualización del avance físico en tiempo real.

4.2.2. Validación en entorno controlado

La implementación del escenario controlado mediante datos simulados permitió verificar la integridad de la lógica de programación sin las interferencias propias de la operatividad en campo. Los resultados técnicos demostraron que:

- **Trazabilidad de Información:** Se validó que el 100% de los reportes generados desde la interfaz del agente digital se procesaran correctamente por el flujo de automatización, actualizando los parámetros de estado en el modelo 4D.
- **Precisión de la Simulación:** Al utilizar estándares reales del sector construcción para alimentar los datos ficticios, el modelo piloto demostró una respuesta consistente en el cálculo de variaciones entre el avance programado y el ejecutado.

4.2.3. Escalabilidad y replicabilidad del modelo piloto

La estructura alcanzada funciona como una "línea base técnica" que garantiza que el sistema sea escalable. Los resultados indican que la metodología de parametrización empleada sea independiente del volumen de datos, lo que permite que el MDGA pueda ser desplegado en proyectos de mayor complejidad.

La mitigación de riesgos de pérdida de información se confirmó mediante pruebas de estrés sobre el flujo de datos, donde la arquitectura de interoperabilidad mantuvo la coherencia entre el reporte del Chatbot y los tableros de control de Power BI.

4.3. Implementación de la infraestructura de datos con Speckle

La integración de Speckle como núcleo de interoperabilidad permitió trascender las barreras de los formatos cerrados, logrando una infraestructura de datos fluida y dinámica para el MDGA. Los resultados derivados de esta implementación se detallan a continuación:

4.3.1. Eficiencia en la extracción

Se validó con éxito la transformación de la geometría compleja de Revit en flujos de datos estructurados. Los resultados técnicos indicaron que en la descomposición del modelo se logró desacoplar la información, permitiendo que el agente digital acceda a parámetros específicos (como volúmenes, áreas o estados de avance) sin necesidad de cargar la totalidad del modelo geométrico, optimizando los tiempos de respuesta del sistema.

Por otra parte, la integridad de la información indicó que las pruebas de sincronización fortalecieron una fidelidad del 100% en la transferencia de metadatos desde el entorno de diseño hacia la base de datos web de Speckle, asegurando que la información consultada por el Chatbot sea idéntica a la del modelo original.

4.3.2. Habilidad de consultas en tiempo real mediante API

El resultado más significativo de esta integración fue la apertura del modelo hacia el ecosistema de IA. La exposición de los datos a través de la API de Speckle permitió que la interconexión dinámica estableciera de un recorrido de comunicación donde el Chatbot traduce el lenguaje natural a consultas técnicas sobre los datos reportados.

Así mismo, el tiempo de retraso que conlleva una actividad registró una respuesta inmediata en la recuperación de propiedades de los elementos constructivos, factor determinante para la utilidad

Inicio

- Archivo
- Cortar
- Copiar
- Copiar formato
- Portapapeles

Insertar

- Obtener libro de datos
- Catálogo de Excel
- Modelado de OneLake
- SQL Server Datos
- Introducir datos
- Optimizar
- Orígenes recientes
- Transformar datos
- Actualizar Consultas

Ayuda

- Nuevo objeto visual
- Cuadro de texto Insertar
- Más objetos visuales
- Nuevo cálculo visual
- Nueva medida rápida
- Cálculos
- Confidencialidad Confidencialidad
- Público Compartir
- Preparación de datos para Copilot IA Copilot

Filtros

Buscar

Filtros de esta página ...

Agregar campos de datos ...

Filtros de todas las páginas ...

Agregar campos de datos ...

Datos

Visualizaciones

Buscar

- actividades
- Fechas
- filos
- kpis
- kpis (2)
 - Column1
 - Σ Column10
 - Σ Column11
 - Σ Column12
 - Column2
 - Σ Column3
 - Σ Column4
 - Σ Column5
 - Column6
 - Σ Column7
 - Σ Column8
 - Σ Column9
- Modelo
- proyectos
- reportes
- sesiones
- suario_proyecto
- usuarios

En la Figura anterior se evidencia la materialización del ecosistema digital mediante la integración del visor tridimensional de Speckle con el motor de base de datos del proyecto dentro de la interfaz de Power BI.

En el panel lateral derecho, se visualiza el diccionario de datos con las tablas y campos del proyecto como actividades, fechas, kpis y usuarios vinculados paramétricamente. Esta interfaz valida la capacidad del sistema para centralizar metadatos complejos y estructurar la información

gerencial de forma visual, permitiendo la trazabilidad del avance físico y el control de los elementos del proyecto.

4.4. Operatividad lógica y gestión del ecosistema MDGA en N8N

La implementación de N8N como motor de organización centralizó la lógica del sistema MDGA, permitiendo la transición exitosa de reportes en lenguaje natural hacia datos estructurados. Los resultados de esta integración se presentan bajo los siguientes criterios de desempeño técnico y gerencial:

4.4.1. Arquitectura de interoperabilidad y seguridad de datos

El sistema validó la capacidad de N8N para actuar como el nodo central de comunicación del ecosistema digital, logrando que la organización de APIs y el tiempo de retraso se garantizó mediante un flujo multidireccional consistente entre el Chatbot, la API de Speckle y Power BI, procesando peticiones HTTP complejas y objetos JSON con retraso mínimo.

Por otra parte, los protocolos de acceso mediante nodos de JavaScript, permitió la implementación de un sistema de sesiones con ventanas seguras de 8 horas y control de acceso por roles (usuario, ingeniero,). Esto aseguró la privacidad de la información y la integridad de la base de datos maestra frente a usuarios no autorizados.

4.4.2. Inteligencia Artificial y Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP)

La integración de modelos de lenguaje (Claude Haiku) y cadenas de Lang Chain permitió elevar la calidad de la interpretación técnica, asegurando una traducción simple con lo cual el sistema alcanzó una precisión alta en el entorno controlado para traducir narrativas informales de campo en identificadores técnicos únicos (ID_EDT). Se identificaron con éxito variables críticas como capítulo, actividad y porcentaje de avance.

Por otra parte, la IA demostró capacidad para distinguir entre avances absolutos y relativos, eliminando la ambigüedad en el reporte y asegurando que la actualización de datos refleje con exactitud la realidad física de la obra.

4.4.3. Cálculo Automático de Indicadores (KPIs) y sincronización del ecosistema

El núcleo algorítmico del flujo transformó la captura de datos en una herramienta de diagnóstico gerencial inmediato, el flujo permitió el cálculo dinámico en tiempo real de indicadores clave como el SPI y el índice de actividades vencidas, proporcionando una visión analítica instantánea en cada interacción del usuario.

La etapa final del flujo garantizó la actualización administrativa del proyecto sin intervención manual de tal manera que, ante un reporte, el sistema actualiza simultáneamente las tablas de "actividades" y "reportes" (historial cronológico), permitiendo auditar cada etapa del proceso desde el mensaje inicial hasta la actualización paramétrica en el modelo BIM 4D.

Por lo tanto, se verificó la eficacia del protocolo de finalización, donde el sistema registra automáticamente la fecha de fin real al alcanzar el 100% de avance, manteniendo el cronograma y los tableros de control permanentemente actualizados.

Para una comprensión profunda de los componentes, la lógica de programación y la estructura de datos que sustentan el modelo MDGA, se recomienda remitirse al Anexo 4 *Documentación técnica del MGDA de seguimiento de obra*.

Este documento complementario detalla el esquema de datos en Google Sheets, las fórmulas de cálculo de KPIs en tiempo real y la configuración específica de los nodos de orquestación en N8N, proporcionando la base técnica necesaria para la replicabilidad del ecosistema digital descrito en este capítulo.

4.5. Inteligencia de datos y visualización gerencial en Power BI

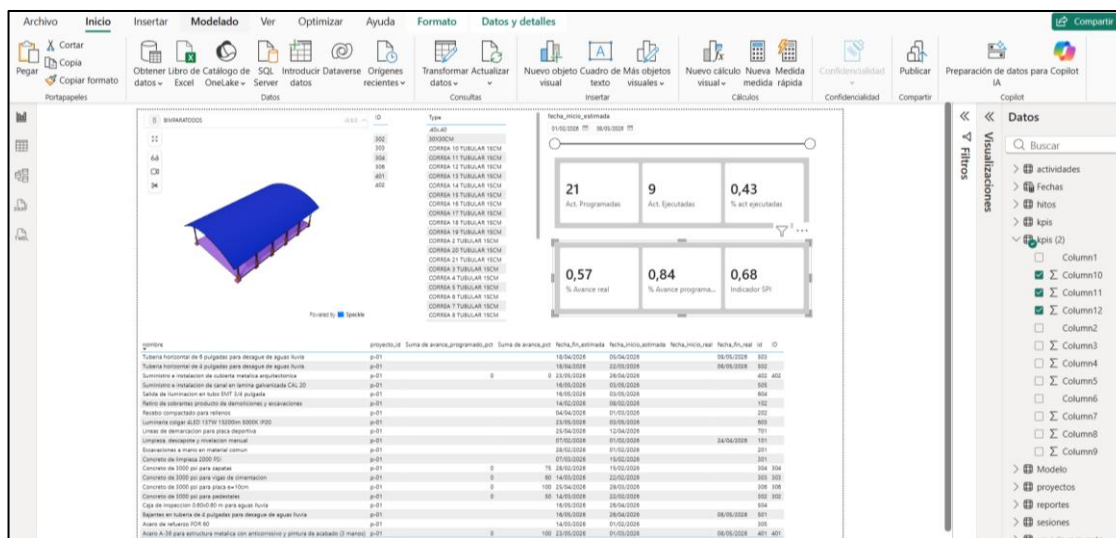
La implementación del entorno analítico en Power BI permitió consolidar el ecosistema digital del proyecto, logrando la convergencia de la información técnica, la planificación temporal y el registro dinámico de campo. Los resultados obtenidos en esta fase de visualización y control se detallan a continuación:

4.5.1. Interoperabilidad y sincronización del modelo 4D

El uso de Speckle como infraestructura de datos permitió superar las limitaciones de los entornos cerrados de revisión, logrando resultados críticos en la gestión de la información donde se validó la importación del modelo geométrico mediante el visualizador *Speckle Power BI Visual*, manteniendo la integridad de los atributos analíticos y los identificadores únicos (ID) de cada elemento constructivo.

Así mismo se estableció un modelo de datos robusto que vincula lógicamente los elementos tridimensionales con el cronograma de ejecución. Esto permitió la segmentación temporal de la geometría, facilitando la simulación de secuencias constructivas directamente en el reporte.

Figura 11 - Vinculación Power Bi y Speckle



Fuente: Elaboración propia utilizando herramienta Power BI

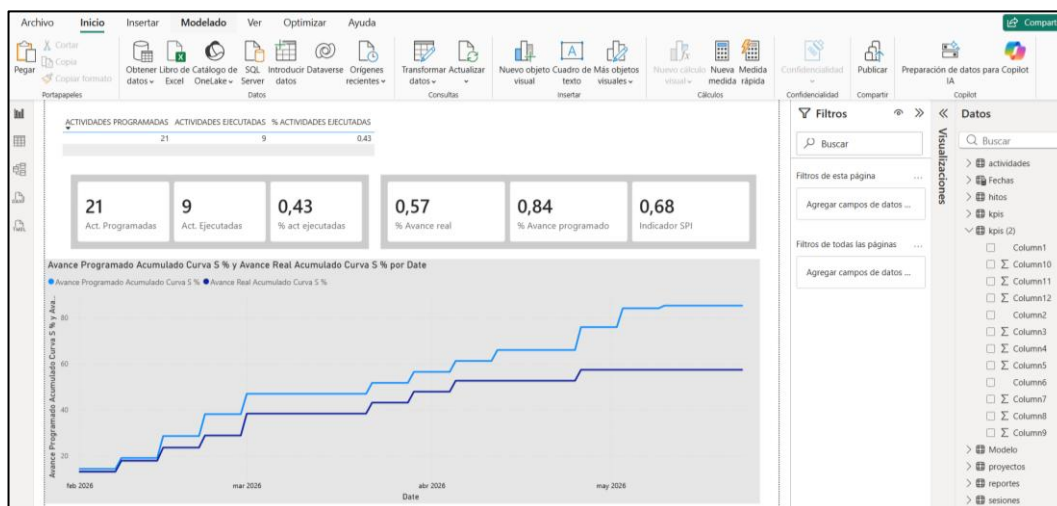
Esta imagen de la interfaz MDGA ilustra la integración de un modelo paramétrico de Revit sincronizado mediante Speckle en un tablero de Power BI, donde la geometría se vincula con el ID de la EDT y el cronograma del proyecto. El sistema permite la visualización en tiempo real de KPIs de avance, los cuales son actualizados dinámicamente a través de un Chatbot, facilitando la toma de decisiones basada en datos precisos de obra.

4.5.2. Análisis de Indicadores de Rendimiento (KPIs)

El diseño del dashboard se orientó hacia la visualización de métricas de desempeño que transforman datos planos en información estratégica como el monitoreo del SPI que logró automatizar la medición de la eficiencia del tiempo ya que la visualización permite contrastar el avance acumulado programado frente al real, facilitando la detección de desviaciones en periodos de evaluación específicos.

Por otra parte, mediante gráficos de columnas agrupadas, se obtuvo un comparativo directo de actividades ejecutadas vs. programadas, permitiendo identificar rápidamente tareas rezagadas o con holguras negativas.

Figura 12-Vinculación de indicadores en Power BI



Fuente: Elaboración propia utilizando herramienta Power BI

La anterior figura representa la fase de consolidación y análisis del Modelo Digital de Gestión de Avance (MDGA), donde se visualiza el resultado final del ciclo de datos iniciado con la alimentación desde el Chatbot en obra. El tablero de control integra la información sincronizada en la base de datos para generar KPIs críticos, como el índice de desempeño del cronograma (SPI) y la comparativa de avance real frente al programado.

Finalmente, el gráfico de Curva S permite monitorear las desviaciones del proyecto en tiempo real, transformando los reportes de campo en una herramienta estratégica para la toma de decisiones gerenciales.

4.5.3. Interactividad cruzada y actualización del ecosistema

El valor diferencial del sistema radica en la conexión fluida entre el agente digital y el panel de control por lo que dentro del flujo de información se validó que el reporte diario capturado por el Chatbot sea procesado por N8N y enviado a la base de datos de Power BI, permitiendo una actualización automática de los KPIs al refrescar el dashboard.

La funcionalidad más significativa es la interactividad cruzada ya que al filtrar indicadores de "Actividades Retrasadas", el visor de Speckle aísla y colorea automáticamente los elementos físicos correspondientes en el modelo 3D. Esto proporciona al gerente de obra una capacidad de diagnóstico espacial inmediata sobre las desviaciones del proyecto.

4.5.4. Eficacia de la lógica transaccional y retroalimentación de campo

La implementación de la lógica de reporte en el sistema MDGA permitió consolidar un ciclo de información cerrado, donde cada interacción del usuario no solo actualiza registros, sino que valida la eficiencia técnica del proyecto. Los resultados obtenidos en esta fase operativa se categorizan de la siguiente manera:

- **Sincronización Multidireccional:** Se validó la capacidad de N8N para ejecutar actualizaciones simultáneas en frentes divergentes pero complementarios donde la actualización BIM 4D con el sistema logra enviar con éxito los nuevos estados de avance a la nube de Speckle, permitiendo que la representación tridimensional del proyecto refleje el progreso físico de manera inmediata.

La alimentación automática de las tablas de seguimiento (Google Sheets) generó un registro histórico inalterable. Los resultados demuestran que cada entrada, captura con precisión la fecha, el usuario, la actividad y el diferencial de avance, funcionando como una bitácora técnica auditable para la gerencia de obra.

- **Optimización del feedback loop:** El nodo de respuesta actuó como un mecanismo crítico de validación, logrando que el sistema proporcione una respuesta de cierre al usuario, devolviendo un resumen estructurado del impacto del reporte (ej. "Avance registrado al 100%"). Esto incrementa la confianza del operario en la herramienta y asegura que el dato ha superado los filtros de validación.

La ruta de aclaración implementada demostró ser eficaz en la gestión de errores. Ante reportes imprecisos o códigos de la EDT inexistentes, el Chatbot activa un protocolo de consulta en lugar de un fallo del sistema, solicitando confirmaciones basadas en la base de datos. Esto garantiza que solo información técnica íntegra alimente el cronograma.

- **Impacto en la toma de decisiones mediante analítica avanzada:** La integración final con Power BI transformó los datos generales en activos estratégicos mediante la automatización de KPIs personalizados, se logró el cálculo instantáneo del SPI y los porcentajes de avance acumulado.

Al estar las tablas alimentadas en tiempo real, se eliminó el tiempo de retraso entre el reporte de campo y la visualización gerencial. Y así mismo el diseño del dashboard permitió realizar filtros dinámicos que integran gráficos, facilitando la identificación proactiva de desviaciones.

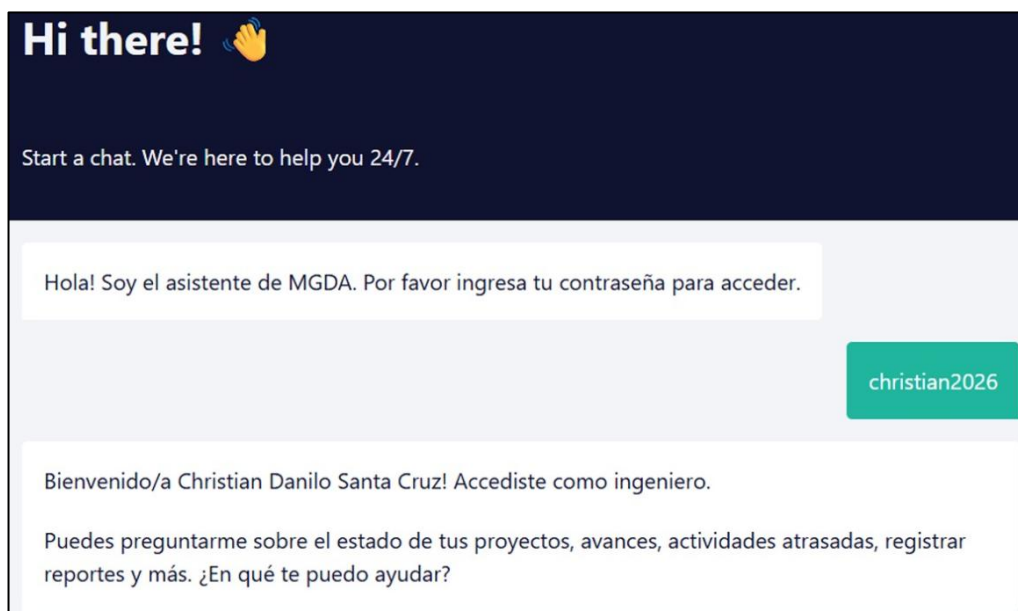
4.6. Operatividad de la interfaz conversacional del Chatbot

El presente capítulo detalló la operatividad técnica del ecosistema digital diseñado para el seguimiento de obras civiles, el cual se fundamentó en la integración de automatización de flujos de trabajo y procesamiento de lenguaje natural. El objetivo principal de este sistema consistió en servir como un puente inteligente entre el usuario y la base de datos del proyecto, permitiendo que la información fluyera sin las barreras administrativas tradicionales.

La puesta en marcha de la interfaz de chat, accesible vía web y optimizada para dispositivos móviles, permitió validar la eficiencia del MDGA como canal de reporte directo desde el sitio de obra. Los resultados obtenidos en cuanto a su funcionalidad se detallan a continuación:

- **Accesibilidad y Disponibilidad:** El despliegue de la interfaz mediante una URL única de N8N garantizó una alta disponibilidad para el equipo técnico, se validó que el acceso mediante el protocolo Webhook permita una interacción fluida sin requerir la instalación de aplicaciones nativas, facilitando la adopción inmediata por parte de usuarios en campo y que las pruebas de interacción demostraron un tiempo de respuesta inferior a los 4 segundos entre el envío del mensaje y el inicio del procesamiento del lenguaje natural, cumpliendo con los estándares de fluidez requeridos para la comunicación en tiempo real.

Figura 13 - Ventana de mensajería en N8N



Fuente: Elaboración propia utilizando chat de herramienta N8N

La anterior imagen representa el mensaje de bienvenida hacia la interacción con el usuario, donde se genera una primera validación de acceso, posteriormente identifica al usuario y finalmente publica opciones de cómo proceder con la información respecto al avance del proyecto.

- **Flujo de autenticación y experiencia de usuario:** La interfaz demostró ser un filtro eficaz para la seguridad de la información del proyecto donde el proceso de inicio de sesión integrado en el chat permitió una transición natural desde el saludo inicial hasta la autenticación de credenciales, registrando exitosamente el session_id en la base de datos de control.

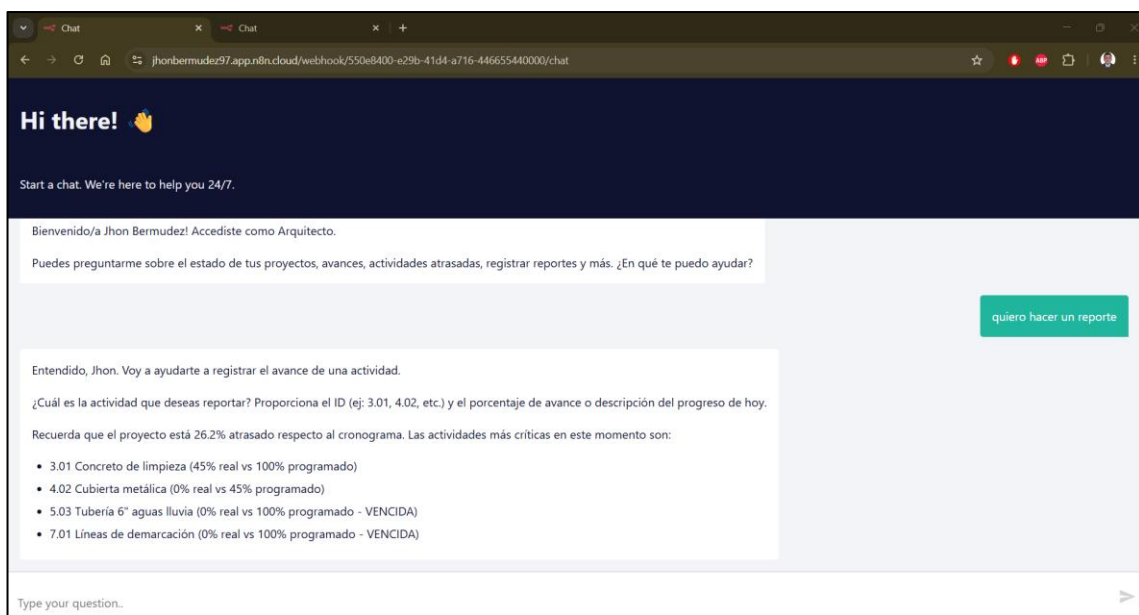
De esta manera se comprobó la eficacia del sistema de sesiones de 8 horas; una vez expirado este tiempo, la interfaz solicita nuevamente la autenticación, protegiendo la integridad de los datos ante posibles pérdidas de dispositivos en obra.

- **Versatilidad del Lenguaje:** La interfaz de chat actuó como un traductor eficiente entre las necesidades del usuario y la lógica del sistema, el cual identifico con precisión las intenciones

del usuario (consultar estado, reportar avance), extrayendo variables críticas como el ID_EDT y porcentajes de avance de manera automatizada.

Por otra parte, dentro de la gestión de consultas no estructuradas, el Chatbot demostró capacidad para resolver dudas sobre el cronograma que no están explícitas en un tablero estático (ej. "¿qué actividades se ejecutaron o finalizaron?"), aprovechando el contexto técnico inyectado por el orquestador.

Figura 14 - Ventana de mensajería en N8N



Fuente: Elaboración propia utilizando chat de herramienta N8N

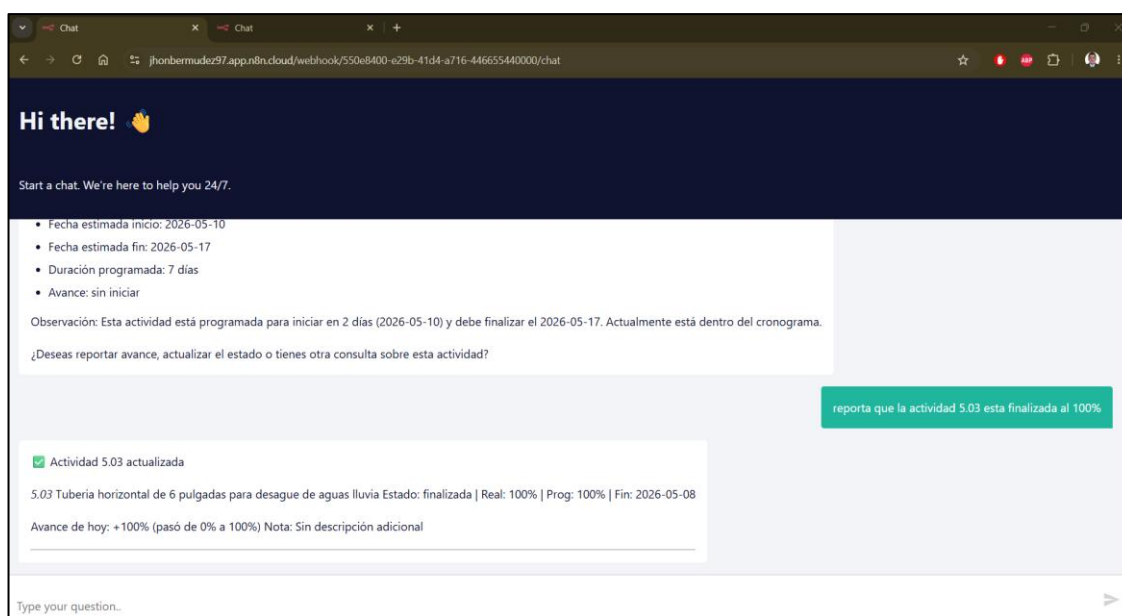
En la Figura anterior se detalla la interacción central con el asistente, la interfaz despliega un bloque de respuesta donde se solicita el ingreso de datos estructurados, exigiendo un ID específico junto con su respectivo porcentaje de avance o descripción del progreso diario.

El agente expone el listado de actividades críticas alineadas rigurosamente con dicha estructura de IDs permitiendo vincular directamente cada reporte con el código correspondiente del proyecto. Este mecanismo garantiza que el registro de avances modifique de forma exacta la

actividad indicada, facilitando la actualización inmediata de métricas como el estado de vencimiento y la brecha entre el avance real y el programado.

- **Confirmación de cierre y protocolo de escritura:** El resultado final de la interacción se consolidó mediante la transparencia en el proceso. Cada vez que el usuario registró un avance, la interfaz devolvió un mensaje de confirmación técnica, asegurando que el dato fue incluido correctamente en Google Sheets y actualizado en el modelo 4D. Finalmente se validó el uso de expresiones regulares para ocultar bloques de código de acción al usuario final, manteniendo una conversación limpia y profesional orientada a la supervisión técnica.

Figura 15 - Ventana de mensajería en N8N



Fuente: Elaboración propia utilizando chat de herramienta N8N

En la Figura anterior se muestra la capacidad de la interfaz al momento de procesar el reporte de avance de una actividad específica. Para este ejemplo el sistema captura inmediatamente la instrucción de cierre al 100% para el ID 5.03 y ejecuta de forma automática la actualización paramétrica en la base de datos del proyecto. Esta acción modifica en tiempo real los atributos de

la tarea, cambiando su estado a "finalizada" e igualando el progreso real con el programado. Finalmente, la interfaz visualiza de forma cuantitativa el impacto de la acción mediante la métrica reportada validando el registro inmediato del progreso físico de la obra.

5. CONCLUSIONES

- La investigación y desarrollo del Modelo Digital de Gestión de Avance (MDGA) permiten concluir que la eficiencia en la industria de la construcción contemporánea no depende de la acumulación de datos, sino de la estructuración de flujos de información bidireccionales y automatizados. Al integrar Revit, Speckle y Power BI mediante un nodo de comunicación basado en Chatbot, este trabajo demuestra que es posible mitigar la fragmentación de la información, uno de los problemas históricos más críticos en la gerencia de proyectos de obras civiles.

La implementación del MDGA marca la transición del BIM como herramienta de representación estática hacia una plataforma de gestión activa, donde el modelo digital deja de ser un archivo de consulta pasiva para convertirse en una fuente única de verdad que refleja el estado físico real de la obra con latencia mínima.

- La parametrización de los elementos constructivos en Revit, vinculada a la EDT y al cronograma mediante identificadores únicos, permitió que cada componente del modelo no fuera únicamente una geometría, sino un nodo de información activo con dimensión temporal. Los resultados validaron que la correspondencia entre la planificación y la geometría alcanzó el 100% en el entorno controlado, confirmando que una EDT bien estructurada es condición necesaria para que el flujo de datos del sistema funcione con integridad.

El uso de Speckle como plataforma de interoperabilidad superó las barreras de los formatos propietarios, habilitando la transferencia de metadatos hacia Power BI sin pérdida de información, consolidando al BIM 4D como una fuente de verdad dinámica y no como un archivo de consulta estática. Con esto, se demostró que es posible construir una base de planificación digital robusta, escalable y preparada para interactuar con los componentes de captura e inteligencia del ecosistema MDGA.

- La implementación del agente conversacional en N8N, potenciado por el modelo de lenguaje Claude Haiku, demostró que es técnicamente viable reemplazar los métodos manuales de reporte por una interfaz conversacional accesible desde dispositivos móviles sin instalación de aplicaciones tradicionales. El sistema alcanzó tiempos de respuesta inferiores a 4 segundos, cumpliendo los estándares de fluidez para entornos operativos en campo.

El componente de procesamiento de lenguaje natural (NLP) interpretó con alta precisión narrativas informales de obra, extrayendo variables críticas como el ID de actividad, el porcentaje de avance y la fecha de ejecución, eliminando la ambigüedad inherente al reporte humano. El protocolo de validación y el sistema de sesiones garantizaron la integridad y trazabilidad de cada dato ingresado, convirtiendo el mecanismo de captura en una herramienta auditable, segura y de adopción inmediata para el personal de campo.

- El dashboard desarrollado en Power BI materializó la convergencia del modelo BIM 4D, el cronograma y los datos capturados en campo en una capa de inteligencia gerencial accionable. La implementación del SPI, la Curva S y el comparativo de actividades ejecutadas vs. programadas proporcionó indicadores cuantitativos en tiempo real, eliminando el desfase de días o semanas que caracteriza a los métodos tradicionales.

La funcionalidad de interactividad cruzada entre los gráficos de KPIs y el visor tridimensional de Speckle representó el resultado más diferencial del sistema: al filtrar actividades retrasadas, el modelo 3D colorea automáticamente los elementos físicos comprometidos, otorgando al gerente una capacidad de diagnóstico espacial que ningún reporte en hoja de cálculo puede ofrecer. Las pruebas en entorno controlado con datos simulados confirmaron la escalabilidad del modelo y la consistencia del feedback loop, validando que el MDGA es replicable en proyectos de mayor complejidad.

6. LIMITACIONES

A pesar de los resultados obtenidos, el presente trabajo reconoce las siguientes limitaciones que definen el alcance real del MDGA desarrollado:

- **Validación en entorno controlado:** El modelo fue probado exclusivamente con datos simulados sobre un proyecto piloto de cubierta metálica. No se realizó una implementación en obra real con personal de campo activo, por lo que variables como la resistencia al cambio, la conectividad en sitio, los errores de digitación en condiciones reales y la variabilidad del lenguaje informal del sector no fueron medidas empíricamente.
- **Alcance dimensional limitado al BIM 4D:** Por decisión metodológica, el trabajo se restringió a la cuarta dimensión del BIM 4D tiempo. Las dimensiones 5D que relaciona directamente a los costos, 6D sostenibilidad y 7D operación y mantenimiento no fueron integradas, lo que limita el alcance del control gerencial a la variable temporal, dejando por fuera el análisis de desviaciones presupuestales y el CPI.
- **Dependencia de infraestructura tecnológica:** La operatividad del ecosistema MDGA requiere conectividad estable a internet para la sincronización entre N8N, Speckle, Google Sheets y Power BI. En proyectos ubicados en zonas con conectividad limitada o intermitente, el modelo en su configuración actual no garantiza la continuidad del flujo de datos en tiempo real.
- **Escalabilidad no probada en proyectos de alta complejidad:** Si bien los resultados indican que la arquitectura es escalable en teoría, esta afirmación se sustenta en pruebas de estrés sobre el flujo de datos del modelo piloto. No se verificó el comportamiento del sistema ante proyectos con EDTs de cientos de actividades, múltiples frentes de obra simultáneos o equipos de campo numerosos interactuando concurrentemente con el Chatbot.

- **Gestión del cambio organizacional fuera del alcance:** El trabajo se enfocó en el desarrollo técnico y metodológico del MDGA. Los aspectos relacionados con la adopción institucional, la capacitación del personal, la redefinición de roles digitales en el organigrama de obra y la superación de la resistencia a sistemas heredados no fueron abordados, siendo factores determinantes para el éxito de cualquier implementación real.

7. RECOMENDACIONES

- **Validación del MDGA en obra real con datos en vivo:** Como continuación natural e inmediata de este trabajo, se recomienda implementar el MDGA en un proyecto de construcción civil en ejecución real para medir la tasa de adopción del Chatbot por parte de personal administrativo-operativo de obra, calibrar el modelo de NLP frente a regionalismos y tecnicismos locales, y cuantificar la reducción efectiva en el tiempo de reporte frente a los métodos manuales. Esta validación empírica permitiría publicar resultados comparativos con respaldo estadístico, fortaleciendo significativamente el aporte científico del modelo.

- **Extensión hacia BIM 5D (integración del control de costos):** Se recomienda extender el ecosistema incorporando la dimensión de costos al modelo, lo que permitiría calcular de forma automática indicadores como el CPI (Cost Performance Index), el EAC (Estimate at Completion) y la Variación de Costo (CV), completando así una gestión del valor ganado (EVM) totalmente automatizada. Esta extensión convertiría al MDGA en una herramienta integral de control de triple restricción: tiempo, costo y alcance.

- **Integración con plataformas de mensajería masiva:** Para reducir la resistencia al cambio y facilitar la adopción del Chatbot por el usuario, se recomienda migrar la interfaz conversacional hacia plataformas de mensajería ya presentes en los dispositivos del personal, como WhatsApp Business API o Telegram, aprovechando las capacidades nativas de integración de N8N. Esta migración eliminaría la necesidad de acceder a una URL externa y reduciría la curva de aprendizaje.

- **Incorporación de visión artificial como canal de captura complementario:** Se recomienda investigar la integración de redes neuronales convolucionales (CNN) para que el sistema pueda recibir fotografías de obra y estimar automáticamente el porcentaje de avance físico

de actividades, complementando el reporte conversacional con evidencia visual procesada algorítmicamente. Esto reforzaría la veracidad del dato capturado y abriría la puerta a la detección automática de no conformidades en campo.

- **Desarrollo de un protocolo de gestión del cambio organizacional:** La implementación exitosa del MDGA en empresas constructoras requerirá un protocolo formal que contemple la capacitación diferenciada por roles, la redefinición de responsabilidades digitales dentro del organigrama de obra y estrategias específicas para la sustitución de sistemas heredados. Se recomienda que futuras investigaciones aborden este componente desde una perspectiva de gestión del cambio y madurez digital organizacional.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)* (7th ed.). Project Management Institute.

Sears, S. K., Sears, G. A., Clough, R. H., Roundy, J. L., & Segner, R. O. (2015). *Construction Project Management: A Practical Guide to Field Construction Management* (6th ed.). John Wiley & Sons.

Méndez, J. S. (2020). *Gerencia de proyectos de construcción: Gestión de costos y presupuestos*. Ediciones de la U.

Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project management benefits of building information modelling (BIM).

McKinsey Global Institute. (2017). *Reinventing construction: A route to higher productivity*. McKinsey & Company.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). BIM Handbook.

Forcael, E., Ferrari, I., Opazo-Vega, A., & Pulido-Arcas, J. A. (2020). Construction 4.0: A Literature Review. *Sustainability*, 12(22), 9755.

Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Sacks, R., Girolami, R., & Brilakis, I. (2020). *Construction Manual: Methods and Materials of Construction*. Routledge.

Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A strategic radical innovation, or a business process management with incremental improvements? *Automation in Construction*, 18(3), 357–379. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.005>

Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252. Recuperado de: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)

Hartmann, T., & Fischer, M. (2008). Applications of BIM and Hurdles for Widespread Adoption of BIM. *10th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE)*.

Koo, B., & Fischer, M. (2000). Feasibility study of 4D CAD in commercial construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(4), 251–260. Recuperado de: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2000\)126:4\(251\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2000)126:4(251))

Kumar, B. (2015). *A Practical Guide to Adopting BIM in Construction Projects*. Woodhead Publishing.

Jongeling, R., & Olofsson, T. (2007). A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD. *Automation in Construction*, 16(2), 189–198. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.04.001>

Darko, A., Chan, A. P., Adabre, M. A., Edwards, D. J., Hosseini, M. R., & Ameyaw, E. E. (2020). Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research

activities. *Automation in Construction*, 112, 103081. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081>

Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press. <http://www.deeplearningbook.org>

Sacks, R., Brilakis, I., Pikas, E., Xie, H., & Girolami, R. (2020). *Construction Manual: Methods and Materials of Construction*. Routledge.

Ahuja, R., Jain, M., Sawhney, A., & Arif, M. (2020). Adoption of BIM and AI in the construction industry: A review. *International Journal of Construction Management*, 20(6), 1-15. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1744459>

Wu, C., Chen, X., & Wang, L. (2022). Natural language processing in the AEC industry: A systematic review and future directions. *Automation in Construction*, 133, 104042. Recuperado: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104042>

Spencer, B. F., Hoskere, V., & Narazaki, Y. (2019). Deep Learning for Structural Health Monitoring: An Overview. *Engineering*, 5(2), 196–206. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.01.011>

Shawar, B. A., & Atwell, E. (2007). Chatbots: are they really useful? *LDV Forum*, 22(1), 29–49.

Dave, B., Buda, A., Nurminen, A., & Främling, K. (2018). A framework for integrating BIM and IoT through open messaging standards. *Automation in Construction*, 95, 35–45. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.024>

Zhai, Y., Zhong, R. Y., Li, Z., & Huang, G. Q. (2020). A multi-agent scheduling system for facility management based on BIM and IoT. *Automation in Construction*, 112, 103066. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103066>

Lin, J. J., Cao, J., & Zhang, L. (2021). Building information modeling-based data visualization for construction management: A review. *Automation in Construction*, 123, 103541. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103541>

Few, S. (2013). *Information Dashboard Design: Displaying Data for At-a-Glance Monitoring* (2nd ed.). Analytics Press.

Sharda, R., Delen, D., & Turban, E. (2014). *Business Intelligence and Analytics: Systems for Decision Support* (10th ed.). Pearson.

Pauwels, P., Zhang, S., & Lee, Y. C. (2020). Semantic Web technologies in AEC industry: A literature review. *Automation in Construction*, 109, 102995. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102995>

Al-Jassmi, H., Ahmed, V., & Al-Zubi, M. (2019). A dashboard for visualizing and managing construction projects: A case study of a residential project. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(3), 2200-2212.

Kerzner, H. (2022). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (12th ed.). Wiley.

Kerzner, H. (2017). *Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards: A Guide to Measuring and Monitoring Project Performance* (3.^a ed.). John Wiley & Sons.

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

Fleming, Q. W., & Koppelman, J. M. (2016). *Earned Value Project Management* (4.^a ed.). Project Management Institute.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3a ed.). John Wiley & Sons.

Wang, Z., Zhang, Q., & Luo, X. (2021). Vision-based framework for automatic progress monitoring of construction projects using deep learning. *Automation in Construction*, 124, Artículo 103558. doi.org <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666721524000346>

ANEXO 1 - ACTIVIDADES

id	proyecto_id	nombre	estado	avance_real	avance_programado	responsable_id	fecha_inicio_estimada	fecha_fin_estimada	fecha_inicio_real	fecha_fin_real
1.01	p-01	Limpieza, descapote y nivelacion manual	finalizada	100	0	u-01	2/1/2026	2/7/2026		
1.02	p-01	Retiro de sobrantes producto de demoliciones y excavaciones	finalizada	100	0	u-01	2/8/2026	2/14/2026		2026-04-24
2.01	p-01	Excavaciones a mano en material comun	finalizada	100	0	u-01	2/1/2026	2/28/2026		
2.02	p-01	Recebo compactado para rellenos	finalizado (3 manos)	100	0	u-01	3/1/2026	4/4/2026		
3.01	p-01	Concreto de limpieza 2000 PSI	pendiente	45	0	u-02	2/15/2026	3/7/2026		
3.02	p-01	Concreto de 3000 psi para pedestales	pendiente	50	0	u-02	2/22/2026	3/14/2026		
3.03	p-01	Concreto de 3000 psi para vigas de cimentacion	pendiente	60	0	u-02	2/22/2026	3/14/2026		
3.04	p-01	Concreto de 3000 psi para zapatas	pendiente	75	0	u-02	2/15/2026	2/28/2026		
3.05	p-01	Acero de refuerzo PDR 60	pendiente	75	0	u-02	2/1/2026	3/14/2026		
3.06	p-01	Concreto de 3000 psi para placa e=10cm	finalizada	100	0	u-02	3/29/2026	4/25/2026		
4.01	p-01	Acero A-36 para estructura metalica con anticorrosivo y pintura	finalizada	100	0	u-02	3/1/2026	5/23/2026		2026-05-08
4.02	p-01	Suministro e instalacion de cubierta metalica arquitectonica	pendiente	0	0	u-02	4/26/2026	5/23/2026		
5.01	p-01	Bajantes en tuberia de 4 pulgadas para desague de aguas lluvia	finalizada	100	0	u-02	4/26/2026	5/16/2026		2026-05-08
5.02	p-01	Tuberia horizontal de 4 pulgadas para desague de aguas lluvia	finalizada	100	0	u-02	3/22/2026	4/18/2026		2026-05-08
5.03	p-01	Tuberia horizontal de 6 pulgadas para desague de aguas lluvia	finalizada	100	0	u-02	4/5/2026	4/18/2026		2026-05-08
5.04	p-01	Caja de inspeccion 0.60x0.60 m para aguas lluvia	pendiente	0	0	u-02	4/26/2026	5/16/2026		
5.05	p-01	Suministro e instalacion de canal en lamina galvanizada CAL 20	pendiente	0	0	u-02	5/3/2026	5/16/2026		
6.02	p-01	Tablero de distribucion bifasico 12 circuitos	pendiente	0	0	u-03	5/10/2026	5/17/2026		
6.03	p-01	Luminaria colgar 4LED 137W 15200lm 5000K IP20	pendiente	0	0	u-03	5/3/2026	5/23/2026		
6.04	p-01	Salida de iluminacion en tubo EMT 3/4 pulgada	pendiente	0	0	u-03	5/3/2026	5/16/2026		
7.01	p-01	Lineas de demarcacion para placa deportiva	pendiente	0	0	u-03	4/12/2026	4/25/2026		

ANEXO 2 - CRONOGRAMA

Hoy: 19/05/2026							FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO					
Item	Capítulo	Duración (Semanas)	Duración (días)	Inicio Ingrasar fecha	Fin Se calcula automatico	%Ejecutado Ingrasar avance	Programado Se calcula automatico	S1 01/02/26	S2 08/02/26	S3 15/02/26	S4 22/02/26	S5 01/03/26	S6 08/03/26	S7 15/03/26	S8 22/03/26	S9 29/03/26	S10 05/04/26	S11 12/04/26	S12 19/04/26	S13 26/04/26	S14 03/05/26	S15 10/05/26	S16 17/05/26	S17 24/05/26
			-1	6-02-2026	05/02-26	-10200%																		
1	PRELIMINARES	2	13	1-02-2026	14-02-26	100%																		
1.01	Limpieza, desapego y nivelacion manual	1	6	1-02-2026	07-02-26	100%																		
1.02	Retiro de sobrantes producto de demoliciones y excavaciones	1	6	8-02-2026	14-02-26	100%																		
2	EXCAVACIONES Y RELLENOS	9	62	1-02-2026	04/04-26	100%																		
2.01	Excavaciones a mano en material común	4	27	1-02-2026	28-02-26	100%																		
2.02	Recibo compactado para rellenos	5	34	1-03-2026	04/04-26	100%																		
3	CONCRETOS Y CIMENTOS	12	83	1-02-2026	25/04-26	100%																		
3.01	Concreto de limpieza 2000 PSI	3	20	15-02-2026	07/03-26	100%																		
3.02	Concreto de 3000 psi para pedestales	3	20	22-02-2026	14/03-2026	100%																		
3.03	Concreto de 3000 psi para vigas de cimentación	3	20	22-02-2026	14/03-2026	100%																		
3.04	Concreto de 3000 psi para zapatas	2	13	15-02-2026	28/02-2026	100%																		
3.05	Acero de refuerzo PDR 60	6	41	1-02-2026	14/03-2026	100%																		
3.06	Concreto de 3000 psi para placa ø=10cm	4	27	29/03-2026	25/04-2026	100%																		
4	ESTRUCTURA METALICAS Y CUBIERTA	12	83	1-03-2026	23/05-26	95%																		
4.01	Acero A36 para estructura metalica con anticorrosivo y pintura de acabado (5 manos)	12	83	1-03-2026	23/05-26	95%																		
4.02	Suministro e instalacion de cubierta metalica arquitectonica	4	27	26/04-2026	23/05-2026	85%																		
5	REDES HIDROSANITARIAS	8	55	23/03-2026	16/05-2026	100%																		
	Suministro e instalacion de bajantes en tuberia de Ø4", para desagüe de aguas lluvia, incluye accesorios, limpiador, pegante y todo lo necesario para correcta instalacion	3	20	26/04-2026	16/05-2026	100%																		
5.01	Suministro e instalacion de tuberia de Ø4" horizontal para desagüe de aguas lluvia, incluye accesorios, limpiador, pegante y todo lo necesario para correcta instalacion	4	27	22/03-2026	18/04-2026	100%																		
5.02	Suministro e instalacion de tuberia de Ø4" horizontal para desagüe de aguas lluvia, incluye accesorios, limpiador, pegante y todo lo necesario para correcta instalacion	4	27	22/03-2026	18/04-2026	100%																		
5.03	Suministro e instalacion de tuberia de Ø6" horizontal para desagüe de aguas lluvia, incluye accesorios, limpiador, pegante y todo lo necesario para correcta instalacion	2	13	5/04-2026	18/04-2026	100%																		
5.04	Suministro e instalacion de tuberia de Ø6" horizontal para desagüe de aguas lluvia, incluye accesorios, limpiador, pegante y todo lo necesario para correcta instalacion	2	13	5/04-2026	18/04-2026	100%																		
5.05	Caja de inspeccion 0.60x0.60 m para aguas lluvia	3	20	26/04-2026	16/05-2026	100%																		
5.06	Suministro e instalacion de canal en lamina galvanizada CAL 20	2	13	3/05-2026	16/05-2026	100%																		
6	INSTALACIONES ELECTRICAS	5	35	12/04-2026	17/05-2026	100%																		
6.02	Tablero de distribucion tablero bifaseo 12 circuitos	1	7	10/05-2026	17/05-2026	100%																		
6.03	Luminaria colgar, 4led, 137w, 15200lm, 5000°K, ip20	3	20	3/05-2026	23/05-2026	80%																		
6.04	Cable de iluminacion en tubo emt 3/4"	2	13	3/05-2026	16/05-2026	80%																		
7.00	OBRAS VARIAS	2	13	12/04-2026	25/04-2026	100%																		
7.01	Lineas de demarcacion para placa deportiva	2	13	12/04-2026	25/04-2026	100%																		

ANEXO 3 - WORKFLOW EN N8N

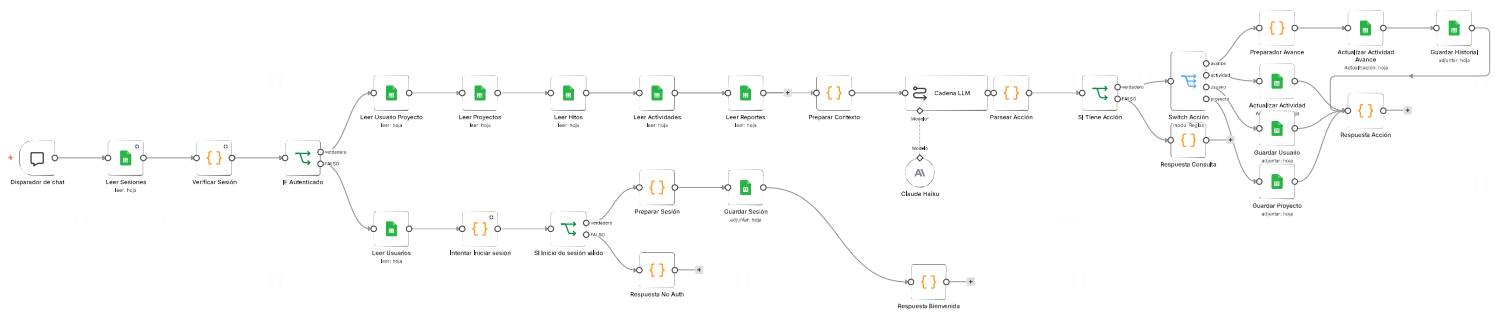
konstrukt-construcción-progreso-chat

Editor Ejecuciones Evaluaciones

0 / 1

Publicar

Estrella



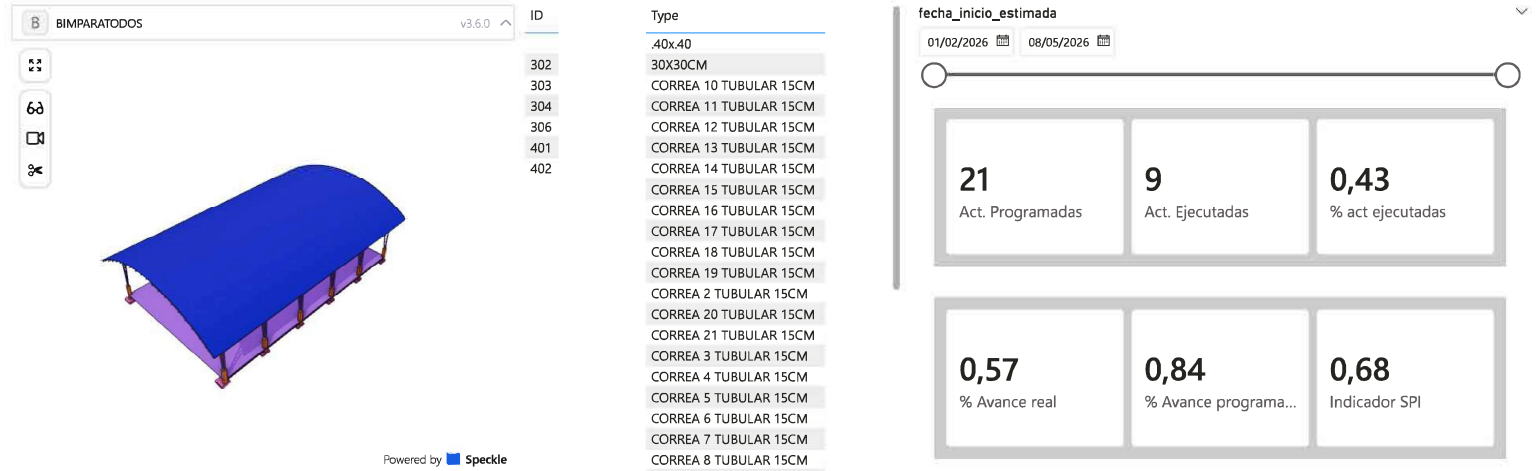
Abrir chat

Charlar

Sesión: c268c...

Registros

ANEXO 5 - DASHBOARD MDGA



nombre	proyecto_id	Suma de avance_programado_pct	Suma de avance_pct	fecha_fin_estimada	fecha_inicio_estimada	fecha_inicio_real	fecha_fin_real	id	ID
Tuberia horizontal de 6 pulgadas para desagüe de aguas lluvia	p-01			18/04/2026	05/04/2026		08/05/2026	503	
Tuberia horizontal de 4 pulgadas para desagüe de aguas lluvia	p-01			18/04/2026	22/03/2026		08/05/2026	502	
Suministro e instalacion de cubierta metalica arquitectonica	p-01	0	0	23/05/2026	26/04/2026			402	402
Suministro e instalacion de canal en lamina galvanizada CAL 20	p-01			16/05/2026	03/05/2026			505	
Salida de iluminacion en tubo EMT 3/4 pulgada	p-01			16/05/2026	03/05/2026			604	
Retiro de sobrantes producto de demoliciones y excavaciones	p-01			14/02/2026	08/02/2026			102	
Recebo compactado para rellenos	p-01			04/04/2026	01/03/2026			202	
Luminaria colgar 4LED 137W 15200lm 5000K IP20	p-01			23/05/2026	03/05/2026			603	
Lineas de demarcacion para placa deportiva	p-01			25/04/2026	12/04/2026			701	
Limpieza, descapote y nivelacion manual	p-01			07/02/2026	01/02/2026		24/04/2026	101	
Excavaciones a mano en material comun	p-01			28/02/2026	01/02/2026			201	
Concreto de limpieza 2000 PSI	p-01			07/03/2026	15/02/2026			301	
Concreto de 3000 psi para zapatas	p-01	0	75	28/02/2026	15/02/2026			304	304
Concreto de 3000 psi para vigas de cimentacion	p-01	0	60	14/03/2026	22/02/2026			303	303
Concreto de 3000 psi para placa e=10cm	p-01	0	100	25/04/2026	29/03/2026			306	306
Concreto de 3000 psi para pedestales	p-01	0	50	14/03/2026	22/02/2026			302	302
Caja de inspeccion 0.60x0.60 m para aguas lluvia	p-01			16/05/2026	26/04/2026			504	
Bajantes en tuberia de 4 pulgadas para desagüe de aguas lluvia	p-01			16/05/2026	26/04/2026		08/05/2026	501	
Acero de refuerzo PDR 60	p-01			14/03/2026	01/02/2026			305	
Acero A-36 para estructura metalica con anticorrosivo y pintura de acabado (3 manos)	p-01	0	100	23/05/2026	01/03/2026		08/05/2026	401	401
Total		0	1205						

ACTIVIDADES PROGRAMADAS	ACTIVIDADES EJECUTADAS	% ACTIVIDADES EJECUTADAS
21	9	0,43

21

Act. Programadas

9

Act. Ejecutadas

0,43

% act ejecutadas

0,57

% Avance real

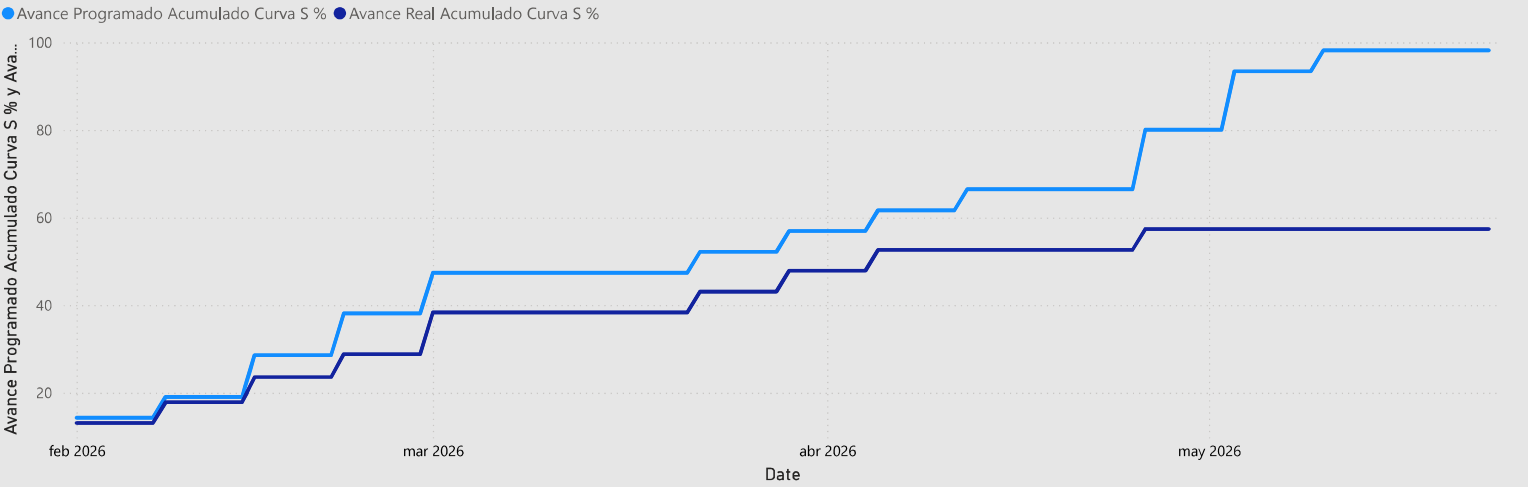
0,84

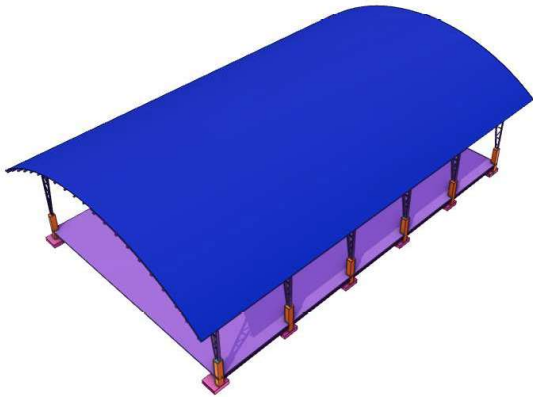
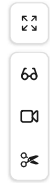
% Avance programado

0,68

Indicador SPI

Avance Programado Acumulado Curva S % y Avance Real Acumulado Curva S % por Date





ID	Type
	ZAPA TIPO 1.20X1.20X.3
302	Viga cercha tipo
303	Viga cercha 6
304	Viga cercha 5
306	Viga cercha 4
401	Viga cercha 3
402	Viga cercha 2
	Viga cercha 1
	TUBULAS EXTERIOR 15CM 2
	TUBULAS EXTERIOR 0.08 CM
	PLACA 15CM
	Cubiertas 1
	CORREA TUBULAR 15CM
	CORREA 9 TUBULAR 15CM
	CORREA 8 TUBULAR 15CM
	CORREA 7 TUBULAR 15CM
	CORREA 6 TUBULAR 15CM
	CORREA 5 TUBULAR 15CM
	CORREA 4 TUBULAR 15CM
	CORREA 3 TUBULAR 15CM
	CORREA 21 TUBULAR 15CM
	CORREA 20 TUBULAR 15CM
	CORREA 2 TUBULAR 15CM
	CORREA 19 TUBULAR 15CM
	CORREA 18 TUBULAR 15CM
	CORREA 17 TUBULAR 15CM
	CORREA 16 TUBULAR 15CM
	CORREA 15 TUBULAR 15CM
	CORREA 14 TUBULAR 15CM
	CORREA 13 TUBULAR 15CM
	CORREA 12 TUBULAR 15CM
	CORREA 11 TUBULAR 15CM
	CORREA 10 TUBULAR 15CM
	30X30CM
	.40x.40

ANEXO 4 – DOCUMENTO TECNICO

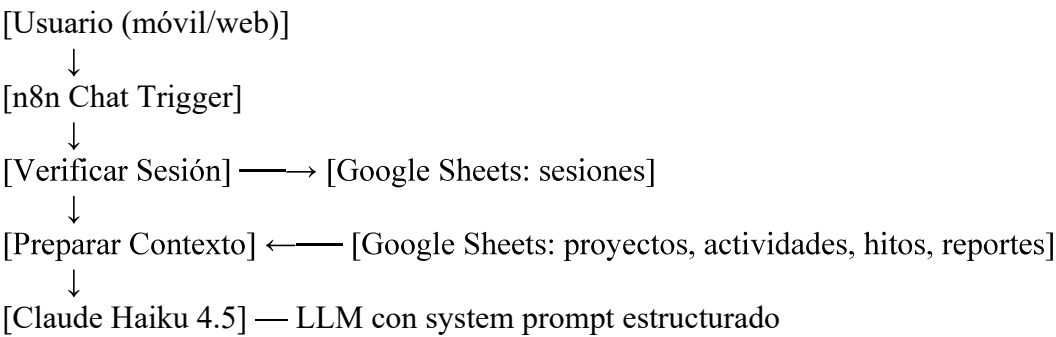
DOCUMENTACIÓN TÉCNICA — SISTEMA MGDA DE SEGUIMIENTO DE OBRA

1. DESCRIPCIÓN GENERAL

El sistema MGDA es una solución de seguimiento de obra basada en inteligencia artificial conversacional. Permite a usuarios que estan relacionados en un proyecto reportar avances, consultar el estado del proyecto y analizar indicadores de desempeño mediante un chatbot accesible desde cualquier dispositivo móvil o de escritorio.

2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

CAPA	TECNOLOGÍA	ROL
Interfaz de usuario	n8n Chat Trigger (web embebido)	Canal de conversación accesible por URL
Orquestador	n8n (self-hosted / cloud)	Coordinación del flujo, lectura/escritura de datos
Base de datos	Google Sheets	Almacenamiento estructurado de proyectos, actividades y reportes
Modelo de lenguaje	Claude Haiku 4.5 (Anthropic)	Procesamiento del lenguaje natural y generación de respuestas
Autenticación	Sistema propio basado en sesiones	Control de acceso por rol (admin, ingeniero/arquitecto, cliente)



↓
[Parsear Acción] — extrae intent y datos de escritura
↓
[Switch] → [Google Sheets: escritura según intent]
↓
[Respuesta al usuario]

3. ESQUEMA DE DATOS (GOOGLE SHEETS)

Usuarios

CAMPO	TIPO	DESCRIPCIÓN
id	string	Identificador único (ej: u-r01)
nombre	string	Nombre completo
rol	string	admin / ingeniero / arquitecto / cliente
password	string	Contraseña de acceso
telefono	string	Teléfono de contacto
activo	boolean	true / false

Usuario_proyecto

CAMPO	TIPO	DESCRIPCIÓN
usuario_id	string	Referencia a usuarios.id
proyecto_id	string	Referencia a proyectos.id

Proyectos

CAMPO	TIPO	DESCRIPCIÓN
id	string	Identificador (ej: p-01)
nombre	string	Nombre del proyecto
cliente	string	Nombre del cliente
estado	string	activo / inactivo
fecha_inicio	date	Fecha de inicio

fecha_fin_estimada	date	Fecha de entrega estimada
--------------------	------	---------------------------

Hitos- Capítulos o fases del proyecto (Preliminares, Excavaciones, Concretos, etc.).

CAMPO	TIPO	DESCRIPCIÓN
id	string	Identificador (ej: h-01)
proyecto_id	string	Proyecto al que pertenece
nombre	string	Nombre del capítulo
estado	string	pendiente / en_progreso / finalizado
fecha_estimada	date	Fecha estimada de cierre del capítulo

Actividades- Tareas individuales del cronograma.

CAMPO	TIPO	DESCRIPCIÓN
id	string	ID del cronograma (ej: 1.01, 3.06)
proyecto_id	string	Proyecto al que pertenece
nombre	string	Descripción de la actividad
estado	string	pendiente / en_progreso / finalizada
avance_pct	number	Porcentaje de avance real acumulado
avance_programado_pct	number	No se usa — calculado dinámicamente en runtime
responsable_id	string	Usuario responsable
fecha_inicio_estimada	date	Inicio según cronograma
fecha_fin_estimada	date	Fin según cronograma
fecha_inicio_real	date	Fecha real de inicio
fecha_fin_real	date	Fecha real de finalización (se registra al llegar a 100%)

Reportes- Bitácora histórica de cada reporte de avance registrado por el chatbot.

CAMPO	TIPO	DESCRIPCIÓN
id	string	Identificador único (r-TIMESTAMP)
proyecto_id	string	Proyecto
actividad_id	string	Actividad reportada
avance_dia_pct	number	Porcentaje avanzado en ese reporte (incremental)
avance_total_pct	number	Porcentaje acumulado tras el reporte
nota	string	Observación opcional del ingeniero
fecha	date	Fecha del reporte

Sesiones - Tokens de sesión activos para control de autenticación.

CAMPO	TIPO	DESCRIPCIÓN
session_id	string	UUID generado por el cliente del chat
usuario_id	string	Usuario autenticado
nombre	string	Nombre del usuario
rol	string	Rol del usuario
timestamp	number	Epoch en ms (TTL: 8 horas)

4. DESCRIPCIÓN DEL WORKFLOW (N8N)

4.1 Flujo de Autenticación

Chat Trigger → Leer Sesiones → Verificar Sesión → IF Autenticado

└─ [Sí] → Flujo principal

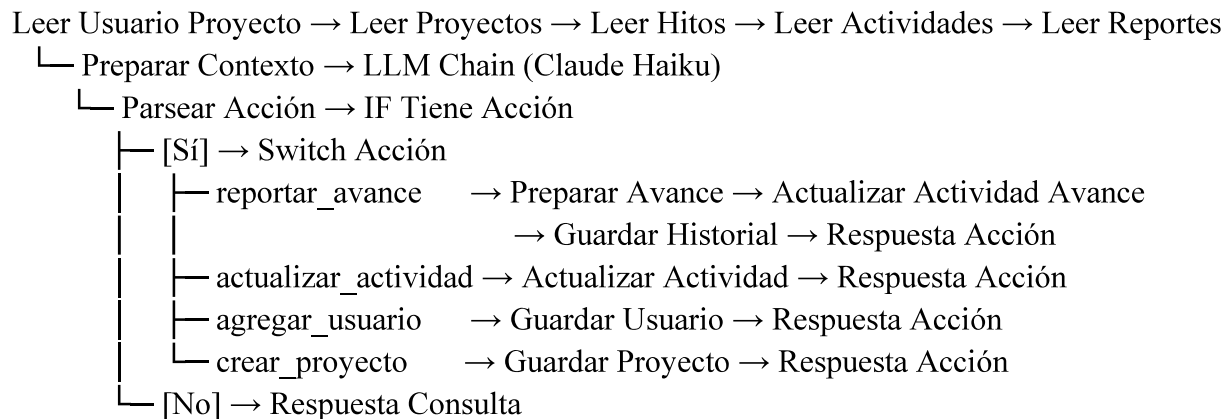
└─ [No] → Leer Usuarios → Intentar Login → IF Login Válido

└─ [Sí] → Preparar Sesión → Guardar Sesión → Respuesta Bienvenida

└─ [No] → Respuesta No Auth

La verificación de sesión compara el session_id enviado por el cliente con los registros en la hoja sesiones. Una sesión es válida si existe y tiene menos de 8 horas de antigüedad.

4.2 Flujo Principal (usuario autenticado)



4.3 Nodo: Preparar Contexto (n16)

El nodo central del sistema. Construye el texto de contexto que se inyecta en el prompt del LLM con datos del usuario, actividades filtradas por permisos, avance programado calculado dinámicamente y los 5 KPIs en tiempo real.

Fórmula de avance programado:

Si hoy $\geq$ fecha_fin → programado = 100%

Si hoy $\leq$ fecha_ini → programado = 0%

Si está en curso → $\text{programado} = (\text{hoy} - \text{fecha_inicio}) / (\text{fecha_fin} - \text{fecha_inicio}) \times 100$

4.4 Nodo: LLM Chain (n17)

Modelo: Claude Haiku 4.5 (claude-haiku-4-5-20251001)

Temperatura: 0.3 — respuestas consistentes y precisas

Max tokens: 2048

System prompt: instrucciones de comportamiento, reglas de reporte incremental/absoluto, formato de acciones de escritura, análisis programado vs real, formato de listado para móvil

4.5 Nodo: Parsear Acción (n19)

El LLM incluye al final de su respuesta un bloque estructurado cuando necesita escribir datos:

[ACTION:{"intent":"reportar_avance","data":{"...}}]

Este nodo extrae el primer bloque [ACTION:] para procesarlo y elimina todos los bloques del texto visible al usuario mediante una expresión regular global.

4.6 Nodo: Preparar Avance (n23)

Para el intent reportar_avance, calcula el estado resultante de la actividad y prepara los datos para dos escrituras secuenciales:

Actualizar Actividad Avance (n28): actualiza avance_pct y estado en la hoja actividades

Guardar Historial (n29): inserta una fila en reportes con el registro del avance del día

5. SISTEMA DE ACCIONES

El LLM se comunica con el sistema de escritura mediante un protocolo de acciones estructuradas al final de cada respuesta:

[ACTION:{"intent":"TIPO","data":{"campos}}]

INTENT	HOJA AFECTADA	CAMPOS PRINCIPALES
reportar_avance	actividades + reportes	actividad_id, avance_dia_pct, avance_total_pct, nota, fecha
actualizar_actividad	actividades	id, avance_pct, estado, fecha_fin_real
agregar_usuario	usuarios	id, nombre, rol, password, telefono
crear_proyecto	proyectos	id, nombre, cliente, estado, fecha_inicio, fecha_fin_estimada

6. KPIS CALCULADOS EN TIEMPO REAL

Todos los indicadores se calculan en el nodo Preparar Contexto con base en las fechas del cronograma y el estado actual de las actividades.

KPI	FÓRMULA
SPI (Schedule Performance Index)	$\text{avance_real_} \% / \text{avance_programado_} \%$

% No cumplidas	acts. con fecha_fin $\leq$ hoy y estado $\neq$ finalizada / acts. con fecha_fin $\leq$ hoy
% No ejecutadas	acts. con fecha_ini $\leq$ hoy y estado = pendiente / acts. con fecha_ini $\leq$ hoy
% Atrasadas	acts. atrasadas / total actividades
Índice de cumplimiento	acts. finalizadas con fecha_fin_real $\leq$ fecha_fin_est / acts. con fecha_fin $\leq$ hoy

7. DECISIONES DE DISEÑO

Esta sección documenta las decisiones arquitectónicas y de diseño tomadas durante el desarrollo, incluyendo las alternativas evaluadas y los criterios que llevaron a cada elección.

7.1 n8n como orquestador en lugar de desarrollo personalizado

Durante la fase de diseño se evaluaron dos enfoques para construir el backend del sistema: desarrollo de una API REST personalizada (Python/FastAPI) o el uso de una plataforma de automatización de flujos como n8n. Se optó por n8n por las siguientes razones:

Velocidad de desarrollo: n8n permite construir y modificar flujos de integración visualmente, reduciendo el tiempo de implementación de semanas a días.

Mantenibilidad: el cliente o un técnico no especializado puede entender y modificar el flujo sin conocimientos de programación avanzada.

Integraciones nativas: n8n incluye conectores oficiales para Google Sheets y la API de Anthropic, eliminando la necesidad de implementar autenticación OAuth y manejo de errores desde cero.

Costo: n8n tiene un plan cloud accesible y también puede ejecutarse en servidor propio sin costo de licencia.

La principal limitación identificada fue que las operaciones de escritura múltiple (actualizar varias actividades en un solo mensaje) son más complejas de implementar en n8n que en código directo.

Esta limitación se resolvió mediante una estrategia de confirmación en cadena, documentada en la sección 7.6.

7.2 Google Sheets como base de datos en lugar de una base de datos relacional

Se evaluaron tres opciones para la capa de persistencia: PostgreSQL, Firebase y Google Sheets.

Se descartó PostgreSQL porque requería infraestructura adicional (servidor, mantenimiento, backups), lo que incrementaba el costo y la complejidad operativa para un cliente sin equipo de sistemas propio.

Se descartó Firebase porque, aunque es serverless, su modelo de datos NoSQL no se adapta bien a la estructura tabular del cronograma de obra y requiere una curva de aprendizaje considerable para el cliente.

Se eligió Google Sheets por:

Costo cero: no requiere infraestructura adicional.

Transparencia para el cliente: el equipo de MGDA puede abrir la hoja de cálculo directamente y auditar los datos sin herramientas especiales.

Familiaridad: los ingenieros ya trabajan con Excel/Sheets para el cronograma, por lo que la adopción es inmediata.

Integración nativa con n8n: el conector de Google Sheets en n8n soporta lectura, escritura, actualización y filtrado sin configuración adicional.

La limitación reconocida de esta decisión es la escalabilidad. Google Sheets tiene un límite de 10 millones de celdas por archivo y no soporta transacciones atómicas. Para el volumen de datos de un proyecto de construcción mediano (decenas de actividades, cientos de reportes), esta limitación no es relevante en el horizonte de uso previsto.

7.3 Claude Haiku 4.5 como modelo de lenguaje en lugar de alternativas

Se evaluaron tres modelos de lenguaje: GPT-4o (OpenAI), Claude Sonnet y Claude Haiku (Anthropic).

Se descartó GPT-4o principalmente por costo (~\$5 USD por millón de tokens de entrada vs ~\$0.25 USD de Haiku) y por la preferencia del equipo por la API de Anthropic, que ofrece mejor soporte para respuestas estructuradas y control de formato de salida.

Se descartó Claude Sonnet porque, si bien es más capaz que Haiku, el costo es aproximadamente 10 veces mayor y las tareas del sistema (consultar datos estructurados, generar respuestas de seguimiento de obra) no requieren capacidades de razonamiento complejo.

Se eligió Claude Haiku 4.5 por:

Costo operativo: \$0.00025 USD por 1K tokens de entrada, lo que permite un costo mensual de \$5–\$15 USD con uso moderado.

Velocidad: tiempos de respuesta inferiores a 2 segundos, apropiados para una interfaz conversacional.

Suficiencia: las consultas de seguimiento de obra (comparar fechas, calcular diferencias, formatear listas) no requieren razonamiento avanzado. La complejidad del sistema reside en el contexto estructurado que se construye en Preparar Contexto, no en el modelo.

Temperatura 0.3: se configuró una temperatura baja para garantizar respuestas consistentes y predecibles, reduciendo la variabilidad en el formato de salida y en los bloques [ACTION:].

7.4 Interfaz conversacional en lugar de formularios web

Se consideró construir una aplicación web tradicional con formularios para registrar avances y dashboards para visualizar KPIs. Esta alternativa fue descartada por:

Fricción de adopción: los ingenieros de campo utilizan el celular como herramienta principal. Un formulario web requiere navegación, selección de campos y confirmación de envío — pasos que un mensaje de texto elimina.

Costo de desarrollo: una aplicación web personalizada requeriría frontend, backend y mantenimiento continuo, multiplicando el costo del proyecto.

Flexibilidad: el lenguaje natural permite consultas que un dashboard estático no puede responder, como "¿qué actividades debían haber iniciado esta semana y no arrancaron?".

La interfaz conversacional reduce la barrera de uso al mínimo: el ingeniero escribe lo que haría naturalmente en un mensaje de WhatsApp y el sistema lo interpreta.

7.5 Avance programado calculado dinámicamente en lugar de almacenado

El campo `avance_programado_pct` existe en la hoja actividades pero no se utiliza. Durante el desarrollo se identificó que almacenar este valor de forma estática presenta un problema estructural: el avance programado cambia cada día según el cronograma. Si se almacena un valor fijo, el sistema mostraría datos incorrectos al día siguiente sin que nadie lo actualice.

La solución implementada calcula el avance programado en tiempo real en el nodo Preparar Contexto, usando las fechas `fecha_inicio_estimada` y `fecha_fin_estimada` de cada actividad y la fecha actual del servidor. Esto garantiza que cualquier consulta refleje el estado correcto del cronograma a la fecha de la consulta, sin intervención manual y sin datos obsoletos.

Esta decisión también eliminó la necesidad de un proceso batch nocturno que actualizara los valores, simplificando la arquitectura.

7.6 Confirmación en cadena para actualizaciones múltiples

Técnicamente, el workflow de n8n solo puede procesar un bloque `[ACTION:]` por ejecución y enrutar la escritura a una sola hoja de cálculo por mensaje. Cuando el LLM genera múltiples acciones en una respuesta, solo la primera se procesa y el resto se descarta.

Se evaluaron dos soluciones:

Solución A: reestructurar el workflow con nodos SplitInBatches y Merge para procesar arrays de acciones. Viable pero añade complejidad de mantenimiento.

Solución B (implementada): procesar una actividad por mensaje y solicitar confirmación explícita para cada actividad adicional.

Se eligió la Solución B por simplicidad operativa y porque, en el contexto de obra, la confirmación explícita por actividad reduce el riesgo de registrar avances incorrectos de forma masiva. Un ingeniero que reporta varias actividades de una sola vez tiene más probabilidad de cometer errores; el flujo de confirmación actúa como validación implícita.

7.7 Sistema de sesiones propio en lugar de OAuth

Se consideró implementar autenticación mediante Google OAuth (aprovechando que el sistema ya usa Google Sheets) o mediante un servicio externo como Auth0. Ambas opciones se descartaron porque:

OAuth de Google requiere configuración de una aplicación en Google Cloud Console, gestión de scopes y un flujo de redirección que no es compatible con la interfaz de chat de n8n.

Auth0 introduce una dependencia externa adicional con costo variable según usuarios activos.

Se implementó un sistema de sesiones simple: al autenticarse, se genera una fila en la hoja sesiones con el session_id del cliente y un timestamp. En cada mensaje subsiguiente, el sistema verifica si ese session_id existe y tiene menos de 8 horas de antigüedad. Si la sesión expiró, solicita la contraseña nuevamente.

Este enfoque es suficientemente seguro para el contexto de uso (red interna de un equipo de obra pequeño) y no requiere infraestructura adicional.

8. COSTOS OPERATIVOS ESTIMADOS

COMPONENTE	COSTO ESTIMADO
n8n cloud	\$20 – \$50 USD/mes
Claude API (Haiku, uso moderado)	\$5 – \$15 USD/mes
Google Sheets	Gratis
Total mensual	\$25 – \$65 USD/mes

9. PROYECTO IMPLEMENTADO: COLISEO ALFEREZ (MGDA)

DATO	VALOR
Proyecto	Coliseo Alferez
Cliente	MGDA
Periodo	01-feb-2026 → 23-may-2026
Actividades	21 tareas en 7 capítulos
Usuarios	4 (1 admin, 3 ingenieros/arquitectos)

10. CAPÍTULOS DEL PROYECTO

ID	CAPÍTULO	ACTIVIDADES
h-01	Preliminares	1.01, 1.02
h-02	Excavaciones y Rellenos	2.01, 2.02
h-03	Concretos y Cimientos	3.01 – 3.06
h-04	Estructura Metálica y Cubierta	4.01, 4.02
h-05	Redes Hidrosanitarias	5.01 – 5.05
h-06	Instalaciones Eléctricas	6.02, 6.03, 6.04
h-07	Obras Varias	7.01