

**Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**  
**CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.**

Llevado a cabo por el estudiante:

González Torres Marcos

Carné: 2020150561

Trabajo Final de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el martes 16 de diciembre de 2025 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

 Firmado digitalmente por  
JOSE ANDRES ARAYA  
OBANDO (FIRMA)  
Fecha: 2025.12.19 12:24:59  
-06'00'

Dr. Ing. José Andrés Araya Obando  
Director de Escuela

LEONARDO JOSUE  
TORRES HERNANDEZ  
(FIRMA) Firmado digitalmente por  
LEONARDO JOSUE TORRES  
HERNANDEZ (FIRMA)  
Fecha: 2025.12.17 11:47:55  
-06'00'

Ing. Leonardo Torres Hernández  
Profesor Guía

MARCO ANTONIO  
CABRERA  
SANDOVAL (FIRMA) Firmado digitalmente por  
MARCO ANTONIO CABRERA  
SANDOVAL (FIRMA)  
Fecha: 2025.12.18 23:07:30 -06'00'

Arq. Marco Cabrera Sandoval, MGP  
Profesor Lector

MILTON ANTONIO  
SANDOVAL QUIROS  
(FIRMA) Firmado digitalmente por  
MILTON ANTONIO SANDOVAL  
QUIROS (FIRMA)  
Fecha: 2025.12.17 08:17:27 -06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós, MAE  
Profesor Observador

# Resumen

La investigación se desarrolla en la empresa Estructuras S.A., donde se identificó una desconexión entre el uso avanzado de la metodología BIM en la etapa de preconstrucción y los métodos tradicionales empleados por los ingenieros residentes durante la ejecución. El objetivo fue Desarrollar una propuesta de mejora para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control de obra durante la etapa de ejecución de los proyectos en la empresa Estructuras S.A. Se adoptó un enfoque cualitativo de estudio de caso, aplicando la herramienta *Lean Value Stream Mapping* (VSM) para diagnosticar los flujos actuales e identificar desperdicios (*muda*). Posteriormente, un Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA) orientó la selección de herramientas. La propuesta de mejora se diseñó empleando Autodesk Takeoff, por su capacidad híbrida 2D/3D, y Dalux BIM Data Files, para el control visual del avance, y fue validado mediante un proyecto piloto en el CTP de Guatuso. Los resultados de la validación confirmaron la utilidad técnica y operativa de las herramientas, aunque se evidenciaron barreras humanas y de proceso, como la sobrecarga operativa del ingeniero residente. Se concluye que la integración de BIM en obra representa un desafío de gestión del cambio más que una simple implementación de software.

Palabras clave: BIM, estimación de materiales, control del avance, Lean Construction, Estructuras S.A., implementación tecnológica, gestión del cambio.

# Abstract

The research was conducted at Estructuras S.A., where a gap was identified between the advanced use of the BIM methodology during the pre-construction stage and the traditional methods applied by site engineers during execution. The objective was to develop an improvement proposal for the integration of the BIM methodology into material estimation and site control processes during the project execution stage at Estructuras S.A. A qualitative case study approach was adopted, applying the Lean Value Stream Mapping (VSM) tool to diagnose current workflows and identify waste (muda). Subsequently, a Multicriteria Decision Analysis (MCDA) guided the selection of tools. The improvement proposal was designed using Autodesk Takeoff, due to its hybrid 2D/3D capability, and Dalux BIM Data Files for visual progress control, and was validated through a pilot project at CTP Guatuso. The validation results confirmed the technical and operational usefulness of the tools, although human and procedural barriers, such as the operational overload of site engineers, were identified. It is concluded that BIM integration on-site represents a change management challenge rather than a mere software implementation.

Keywords: BIM, material estimation, progress control, Lean Construction, Estructuras S.A., technological implementation, change management.

# **Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.**

MARCOS ANTONIO GONZÁLEZ TORRES

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Diciembre de 2025

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

|                                                                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Resumen ejecutivo .....                                                                                                                          | 8         |
| Introducción .....                                                                                                                               | 10        |
| Capítulo 1: Marco teórico .....                                                                                                                  | 12        |
| <b>1.1. FUNDAMENTOS DE LA GESTIÓN DE PROYECTOS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN .....</b>                                                      | <b>12</b> |
| 1.1.1. El paradigma de la gestión de proyectos de construcción.....                                                                              | 12        |
| 1.1.1.1. Principios de gestión de proyectos según la guía PMBOK.....                                                                             | 12        |
| 1.1.1.2. Dominios de desempeño clave: planificación, trabajo del proyecto y entrega .....                                                        | 13        |
| 1.1.2. El ingeniero residente como eje central en la fase de ejecución .....                                                                     | 13        |
| 1.1.3. Ineficiencias tradicionales desde la óptica de <i>Lean Construction</i> .....                                                             | 14        |
| 1.1.4. Desafíos de productividad en el sector construcción y el contexto costarricense.....                                                      | 15        |
| <b>1.2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS TRADICIONALES DE ESTIMACIÓN Y CONTROL DE OBRA.....</b>                                                          | <b>16</b> |
| 1.2.1. Estimación de materiales de obra.....                                                                                                     | 16        |
| 1.2.1.1. La cuantificación manual de materiales y su impacto en el proyecto .....                                                                | 16        |
| 1.2.2. Control del avance de obra: métodos convencionales de seguimiento.....                                                                    | 16        |
| 1.2.2.1. Técnicas de verificación manual del progreso en campo .....                                                                             | 16        |
| 1.2.2.2. Implicaciones de un control de avance impreciso.....                                                                                    | 17        |
| <b>1.3. LA METODOLOGÍA BIM COMO NUEVO PARADIGMA PARA LA GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN .....</b>                                                     | <b>17</b> |
| 1.3.1. Building information modeling (BIM) .....                                                                                                 | 17        |
| 1.3.2. Niveles de madurez BIM .....                                                                                                              | 17        |
| 1.3.3. El nivel de desarrollo (LOD) como estrategia de modelado .....                                                                            | 18        |
| 1.3.4. Usos de BIM aplicados a la ejecución de obra .....                                                                                        | 19        |
| 1.3.4.1. BIM 3D: el modelo como base de datos para la cuantificación .....                                                                       | 19        |
| 1.3.4.2. BIM 4D: la vinculación del tiempo para el control de avance.....                                                                        | 19        |
| 1.3.4.3. BIM 5D: la vinculación del costo para la estimación de materiales .....                                                                 | 19        |
| 1.3.5. Estandarización de la gestión de la información: la norma ISO 19650 .....                                                                 | 19        |
| 1.3.5.1. Principios y conceptos de las normas ISO 19650-1 y 19650-2 .....                                                                        | 20        |
| 1.3.5.2. El entorno común de datos (CDE) como solución a la fragmentación.....                                                                   | 20        |
| <b>1.4. INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS BIM EN LOS FLUJOS DE TRABAJO DEL INGENIERO RESIDENTE .....</b>                                               | <b>20</b> |
| 1.4.1. Optimización de la estimación de materiales con <i>model take-off</i> .....                                                               | 20        |
| 1.4.1.1. El proceso de extracción automatizada de cantidades ( <i>quantity takeoff</i> ).....                                                    | 21        |
| 1.4.2. Digitalización del control de avance.....                                                                                                 | 21        |
| 1.4.3. Comparación de metodologías de estimación y control de obra.....                                                                          | 21        |
| <b>1.5. MARCOS ESTRATÉGICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y MEJORA CONTINUA .....</b>                                                                   | <b>22</b> |
| 1.5.1. Metodologías ágiles: lean construction y value stream mapping (VSM) .....                                                                 | 22        |
| 1.5.1.1. Principios de <i>lean construction</i> para la reducción de desperdicios.....                                                           | 22        |
| Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A. | 5         |

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.5.1.2. Aplicación del <i>value stream mapping</i> (VSM) para el análisis y rediseño de procesos .....                                          | 22 |
| 1.5.1.3. BIM como habilitador de la filosofía <i>Lean</i> .....                                                                                  | 23 |
| 1.5.2. <i>Business intelligence</i> (BI) y gestión visual .....                                                                                  | 23 |
| 1.5.3. Alineación con la estrategia nacional BIM de Costa Rica.....                                                                              | 24 |
| 1.5.4. Implementación gradual y validación mediante proyectos piloto.....                                                                        | 24 |
| 1.5.4.1. El rol del proyecto piloto en la adopción tecnológica .....                                                                             | 24 |
| 1.5.4.2. Diseño de manuales de usuario .....                                                                                                     | 25 |
| Capítulo 2: Metodología .....                                                                                                                    | 26 |
| 2.1. ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN .....                                                                                                       | 26 |
| 2.2. ESTRUCTURA METODOLÓGICA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                                                     | 26 |
| 2.2.1. Objetivo específico 1 .....                                                                                                               | 26 |
| 2.2.2. Objetivo específico 2 .....                                                                                                               | 27 |
| 2.2.3. Objetivo específico 3 .....                                                                                                               | 28 |
| 2.2.4. Objetivo específico 4 .....                                                                                                               | 28 |
| 2.3. FORMA DE PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS .....                                                                                               | 28 |
| Capítulo 3: Resultados y análisis .....                                                                                                          | 30 |
| 3.1. DIAGNÓSTICO .....                                                                                                                           | 30 |
| 3.1.1. Diagnóstico de los procesos actuales ("As-Is") .....                                                                                      | 30 |
| 3.1.1.1. Proceso de estimación de materiales.....                                                                                                | 30 |
| 3.1.1.2. Proceso de control del avance de obra .....                                                                                             | 32 |
| 3.1.2. Diagnóstico de "desperdicios" (Muda) en los flujos de trabajo .....                                                                       | 34 |
| 3.1.2.1. Hallazgos en la estimación de materiales .....                                                                                          | 34 |
| 3.1.2.2. Hallazgos en el control del avance de obra .....                                                                                        | 35 |
| 3.1.2.3. Síntesis de desperdicios según el marco <i>Lean Construction</i> .....                                                                  | 36 |
| 3.1.3. Contexto organizacional y capacidades BIM actuales.....                                                                                   | 37 |
| 3.1.3.1. Necesidades de la empresa en la implementación de BIM .....                                                                             | 37 |
| 3.1.3.2. Jerarquía de trabajo en los procesos .....                                                                                              | 38 |
| 3.1.3.3. Capacidades BIM en Estructuras S.A. ....                                                                                                | 38 |
| 3.1.4. Identificación de oportunidades de mejora .....                                                                                           | 40 |
| 3.2. ESTRATEGIAS PARA EL USO E IMPLEMENTACIÓN DE BIM .....                                                                                       | 40 |
| 3.2.1. Marco normativo y estratégico para la adopción de BIM.....                                                                                | 40 |
| 3.2.1.1. La estrategia nacional BIM de Costa Rica .....                                                                                          | 40 |
| 3.2.1.2. Estándares internacionales .....                                                                                                        | 41 |
| 3.2.1.3. Lineamientos del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA) y el ecosistema local.....                                      | 43 |
| 3.2.2. Mejores prácticas aplicables a los procesos de estimación y control.....                                                                  | 44 |
| 3.2.2.1. Planificación secuencial: Simulación visual del proceso constructivo .....                                                              | 44 |
| 3.2.2.2. Extracción de cantidades .....                                                                                                          | 46 |
| 3.2.3. Síntesis y propuesta de estrategias para Estructuras S.A. ....                                                                            | 48 |
| 3.2.3.1. Usos BIM recomendados para la estimación y control .....                                                                                | 48 |
| 3.3. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE MEJORA .....                                                                                                      | 50 |
| Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A. |    |

|             |                                                                                                     |           |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.1.      | Introducción a la fase de evaluación técnica .....                                                  | 50        |
| 3.3.2.      | Criterios de evaluación y metodología de selección numérica .....                                   | 51        |
| 3.3.2.1.    | Capacidad para la cuantificación de materiales desde modelos y planos (Flujo de trabajo 2D/3D)..... | 51        |
| 3.3.2.2.    | Usabilidad y enfoque en la experiencia del usuario de campo (Ingeniero Residente) .....             | 52        |
| 3.3.2.3.    | Provisión de un sistema objetivo y visual para el control del avance de obra .....                  | 52        |
| 3.3.2.4.    | Interoperabilidad con el ecosistema tecnológico actual de la empresa (Autodesk Revit) .....         | 53        |
| 3.3.2.5.    | Costo total.....                                                                                    | 54        |
| 3.3.2.6.    | Análisis multicriterio .....                                                                        | 54        |
| 3.3.3.      | Análisis preliminar y descarte de herramientas alternativas .....                                   | 55        |
| 3.3.3.1.    | Herramientas de coordinación y simulación BIM (Autodesk Navisworks Manage) .....                    | 56        |
| 3.3.4.      | Plataformas de gestión en campo .....                                                               | 58        |
| 3.3.4.1.    | Ecosistema Autodesk Construction Cloud (ACC) .....                                                  | 59        |
| 3.3.4.2.    | Plataforma de gestión en obra Dalux (Field y Box).....                                              | 64        |
| 3.3.4.3.    | Análisis de la Integración Revit + Power BI para <i>Business Intelligence</i> .....                 | 68        |
| 3.3.5.      | Análisis de selección de herramientas tecnológicas .....                                            | 69        |
| 3.3.5.1.    | Aplicación del análisis multicriterio para la estimación de materiales.....                         | 70        |
| 3.3.5.2.    | Aplicación del análisis multicriterio para el control del avance de obra .....                      | 72        |
| 3.3.5.3.    | Síntesis de la solución tecnológica propuesta .....                                                 | 75        |
| 3.3.6.      | Diseño de la propuesta para la estimación de materiales.....                                        | 75        |
| 3.3.6.1.    | Arquitectura del flujo de trabajo y redefinición de roles .....                                     | 75        |
| 3.3.6.2.    | Fase de preparación y gobernanza de datos.....                                                      | 76        |
| 3.3.6.3.    | Ejecución y validación .....                                                                        | 78        |
| 3.3.7.      | Diseño de la propuesta para el control del avance de obra .....                                     | 82        |
| 3.3.7.1.    | Arquitectura del flujo de trabajo.....                                                              | 83        |
| 3.3.7.2.    | Fase de preparación y gobernanza de datos.....                                                      | 83        |
| 3.3.7.3.    | Fase de ejecución y validación.....                                                                 | 85        |
| 3.3.8.      | Documentación de la propuesta .....                                                                 | 89        |
| 3.3.9.      | Integración operativa: Adaptación y enriquecimiento de los procesos actuales .....                  | 90        |
| 3.3.10.     | Cierre del diseño: Validación de la propuesta y estrategia de adopción .....                        | 91        |
| <b>3.4.</b> | <b>DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 4.....</b>                                                    | <b>92</b> |
| 3.4.1.      | Contexto, alcance y barreras contextuales de la implementación .....                                | 94        |
| 3.4.1.1.    | Barreras contextuales y humanas .....                                                               | 94        |
| 3.4.2.      | Reporte de realimentación: Estimación de materiales (Autodesk Takeoff).....                         | 96        |
| 3.4.2.1.    | Observaciones técnicas de la herramienta .....                                                      | 96        |
| 3.4.2.2.    | Propuestas de solución y recomendaciones de implementación .....                                    | 99        |
| 3.4.3.      | Reporte de realimentación: Control del avance de obra (Dalux BIM Data Files).....                   | 101       |
| 3.4.3.1.    | Observaciones técnicas de la herramienta .....                                                      | 101       |
| 3.4.3.2.    | Propuestas de solución y recomendaciones de implementación .....                                    | 104       |

|                                     |                                                                             |     |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.4.                              | Metodología de seguimiento y análisis de eficiencia operativa.....          | 106 |
| 3.4.5.                              | Síntesis de la validación y lecciones aprendidas para Estructuras S.A. .... | 108 |
| Conclusiones y recomendaciones..... |                                                                             | 111 |
| Referencias.....                    |                                                                             | 113 |
| Apéndices .....                     |                                                                             | 115 |

# Resumen ejecutivo

Este Trabajo Final de Graduación (TFG) aborda una desconexión operativa crítica identificada en la empresa constructora Estructuras S.A. A pesar de la madurez de la organización en el uso de la metodología BIM (Building Information Modeling) durante la fase de pre-construcción, persistía una brecha digital en la fase de ejecución. Los ingenieros residentes, figura clave en la obra, continuaban dependiendo de métodos tradicionales, manuales y basados en planos 2D para procesos críticos como la estimación de materiales (cuantificaciones) y el control del avance de obra.

Esta dependencia de procesos análogos generaba ineficiencias, sobre-procesamiento, un alto riesgo de errores de cálculo y una subutilización de la inversión y los valiosos datos contenidos en los modelos BIM. La oportunidad atendida fue el diseño e implementación de una propuesta de mejora para cerrar esta brecha, integrando los flujos de trabajo del ingeniero residente con el ecosistema digital de la empresa.

Esta investigación contribuye directamente a dos Objetivos de Desarrollo Sostenible: el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables).

El objetivo general del proyecto fue desarrollar una propuesta de mejora para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control de obra durante la etapa de ejecución de los proyectos en la empresa Estructuras S.A. Para lograrlo, se plantearon cuatro objetivos específicos detallados: primero, diagnosticar el estado actual de los procesos, utilizando el Mapeo de Flujo de Valor (VSM) de *Lean Construction* para identificar "desperdicios" (muda) en los flujos de trabajo vigentes; segundo, establecer las estrategias BIM pertinentes, consultando estándares y mejores prácticas para definir los usos (como *Quantity Take-Off* y Control de Avance Visual) que respondieran al diagnóstico; tercero, diseñar la propuesta de mejora, lo que implicó un Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA) para seleccionar las herramientas tecnológicas óptimas y luego documentar los nuevos flujos en Procedimientos Operativos Estándar (SOP) y Guías de Usuario; y cuarto, implementar y validar la propuesta en un proyecto piloto (CTP de Guatuso) para aplicar las herramientas en un entorno real y generar un reporte de realimentación.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de estudio de caso. Se utilizaron las herramientas de diagnóstico (VSM) y selección (MCDA) mencionadas, y se culminó con una implementación controlada para validar la propuesta diseñada.

En cuanto a los resultados, se determinó que el estado actual de los procesos es predominantemente manual y analógico, caracterizado por una dependencia de planos 2D para la estimación y registros físicos dispersos para el control. Este diagnóstico inicial confirmó la desconexión entre la oficina técnica y la obra, identificando "desperdicios" clave como el "Sobre-procesamiento" (cuantificaciones manuales) y "Defectos" (errores de cálculo y subjetividad). Como respuesta, se establecieron estrategias basadas en los usos BIM de estimación y control visual, diseñando nuevos flujos de trabajo soportados por la selección de Autodesk Takeoff para la estimación de materiales (por su capacidad híbrida 2D/3D) y Dalux BIM Data Files para el control de avance (una solución pragmática y rentable).

La fase final de implementación y validación en el CTP de Guatuso confirmó la viabilidad técnica de las herramientas mediante señales positivas concretas: Autodesk Takeoff demostró su agilidad para la cuantificación rápida de órdenes de cambio y materiales, mientras que Dalux BIM Data Files fortaleció la trazabilidad visual del avance y simplificó la comunicación técnica entre la obra y la oficina. Tanto Takeoff como Dalux se mostraron funcionales y capaces de ejecutar las tareas para las que fueron seleccionadas.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

Sin embargo, la validación arrojó un hallazgo más significativo: la adopción no se vio frenada por fallas en el software, sino por barreras humanas y de proceso. La "sobrecarga operativa" del ingeniero residente demostró ser un obstáculo mayor que cualquier limitación tecnológica, limitando el uso no por resistencia, sino por falta de tiempo y prioridades operativas urgentes.

La conclusión principal es que la integración de BIM en la fase de ejecución es fundamentalmente un desafío de gestión del cambio y rediseño de procesos. Aunque las herramientas seleccionadas (Takeoff y Dalux) demostraron ser técnicamente viables y funcionales, su éxito depende críticamente de la calidad de los datos del modelo ("Garbage In, Garbage Out") y de la adaptación de los procesos de la empresa para dar cabida a su uso. Por lo tanto, se recomienda acompañar la tecnología con una estrategia de gestión del cambio enfocada en las personas, implementar un programa de capacitación progresiva con sesiones breves y prácticas, estandarizar los flujos de trabajo BIM para asegurar la fiabilidad de la información, y crear un repositorio de lecciones aprendidas.

# Introducción

La industria de la construcción es un pilar fundamental del desarrollo global que se enfrenta a un desafío persistente: un estancamiento histórico en su productividad. Un informe del Instituto Global McKinsey (Barbosa et al., 2017) revela que el crecimiento de la productividad laboral en este sector ha promediado apenas un 1% anual en las últimas dos décadas, una cifra marcadamente inferior al promedio de la economía mundial. Este rezago se atribuye, en gran medida, a falta de integración y comunicación entre los distintos eslabones del proceso constructivo y a una lenta adopción de tecnologías digitales, lo que genera flujos de trabajo manuales propensos a errores, sobrecostos y retrasos (Arreola, 2018).

Como respuesta a esta problemática, ha surgido la metodología de Modelado de Información para la Construcción o BIM (*Building Information Modeling*), un conjunto de procesos y tecnologías que permiten gestionar la información de un proyecto de manera colaborativa en un entorno virtual a lo largo de todo su ciclo de vida (Planbim, 2021). Sin embargo, la adopción de BIM a menudo crea una "brecha digital" entre la sofisticación alcanzada en la oficina técnica durante la fase de pre-construcción y la persistencia de métodos tradicionales en las operaciones de campo durante la ejecución.

Este trabajo de graduación se desarrolla en el contexto de la empresa constructora Estructuras S.A., una de las entidades más importantes del sector en Costa Rica. La organización ha alcanzado una madurez considerable en la adopción de BIM durante la fase de pre-construcción, utilizando herramientas como Autodesk Revit y Dalux para la coordinación de especialidades y la generación de planos de taller. Sin embargo, el problema central que aborda esta investigación es la desconexión entre este uso avanzado y la persistencia de procesos tradicionales en la fase de ejecución. A pesar de contar con modelos de información ricos en datos, el ingeniero residente, figura clave en la materialización de la obra, sigue dependiendo de métodos análogos para dos de sus funciones críticas: la estimación de materiales y el control del avance de obra.

La estimación se realiza mediante cuantificaciones manuales a partir de planos 2D, una tarea susceptible a errores, mientras que el control del avance se basa en inspecciones visuales y la gestión de tablas de pago, un proceso lento y subjetivo. Esta falta de integración impide capitalizar la inversión ya realizada en BIM, extendiendo las mismas ineficiencias que la metodología busca erradicar.

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de cerrar esta brecha operativa, generando un impacto directo en la eficiencia y rentabilidad de los proyectos de Estructuras S.A. La implementación de una propuesta de mejora enfocado en el ingeniero residente permitirá optimizar costos y tiempos, considerando que el retrabajo derivado de una mala estimación puede costar hasta un 12% del valor del contrato (Love, 2002) y que la extracción automatizada de cantidades puede reducir el tiempo dedicado a esta tarea hasta en un 80% (Giel & Issa, 2011).

La novedad de este trabajo no reside en proponer la adopción de BIM, sino en diseñar una propuesta a la medida, adaptada a las realidades y limitaciones de la empresa, como el uso de su ecosistema tecnológico existente y el estado actual de sus modelos. Al empoderar al personal de campo con herramientas digitales integradas a sus flujos de trabajo, se espera maximizar el retorno de la inversión, mejorar la trazabilidad de la información y reducir la fricción administrativa, generando así un beneficio tangible y escalable.

Si bien la literatura académica ha explorado ampliamente el impacto de BIM, con trabajos de referencia como el "BIM Handbook" (Sacks, Eastman, Lee, & Teicholz, 2018) que establecen sus

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

fundamentos, y tesis como la de Carvajal (2018) que analizan su impacto en la estimación y control, gran parte de estos estudios abordan la implementación desde una perspectiva global. Son menos los trabajos que se centran en el diseño de flujos de trabajo específicos para el ingeniero residente en ejecución, considerando las limitaciones prácticas de una empresa en proceso de madurez digital. Este proyecto se distingue por su enfoque pragmático, partiendo de un diagnóstico de campo para diseñar una propuesta que ayude a integrar la metodología en estos procesos específicos de Estructuras S.A.

Para lograrlo, se tienen como objetivos:

**Objetivo General** Desarrollar una propuesta de mejora para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control de obra durante la etapa de ejecución de los proyectos en la empresa Estructuras S.A.

### **Objetivos Específicos**

- Diagnosticar el estado actual de los procesos de estimación de materiales y control del avance en la etapa de ejecución de proyectos, mediante un mapeo de los flujos de trabajo vigentes y listado de las principales limitantes, necesidades, recursos disponibles, para la identificación de oportunidades de mejora en la implementación de la metodología BIM
- Establecer las estrategias, usos específicos y lineamientos de la metodología BIM, mediante revisión bibliográfica y la consulta a expertos del sector, partiendo del diagnóstico de necesidades de la empresa, como base para la fase de diseño de la propuesta para la estimación de materiales y control del avance en Estructuras S. A.
- Diseñar una propuesta de mejora para la integración de BIM, mediante la estructuración de flujos de trabajo detallados y la elaboración de manuales de usuario, basado en la propuesta técnica, para su implementación en un proyecto piloto.
- Implementar la propuesta de mejora diseñada en un proyecto piloto de Estructuras S.A., mediante su aplicación controlada y seguimiento, para la validación de su efectividad y la generación de un reporte de realimentación.

El alcance de este trabajo abarca el ciclo completo de diseño e implementación, desde el mapeo de los procesos en el proyecto piloto CTP de Guatuso hasta la elaboración de un manual de usuario y la implementación controlada la propuesta a una pequeña escala. Queda fuera del alcance la modificación de los modelos de información existentes, como el modelado del acero de refuerzo, así como una implementación a nivel de toda la empresa. La principal limitación de la investigación es su diseño como estudio de caso, lo que significa que sus conclusiones, aunque de alta relevancia para Estructuras S.A., no son directamente generalizables a toda la industria.

Esta investigación contribuye directamente a dos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas: al ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura, al promover la modernización de los procesos constructivos; y al ODS 12: Producción y Consumo Responsables, al buscar la reducción del desperdicio de materiales mediante una estimación más precisa.

Finalmente, extendiendo un agradecimiento a la empresa Estructuras S.A. por la apertura y la confianza brindadas para el desarrollo de este trabajo. De manera especial, agradezco la invaluable colaboración y el tiempo dedicado por los ingenieros Jimmy Madriz, Antony Vásquez Flores, Edwin Hernández y Oscar Corrales. Asimismo, expreso mi profunda gratitud al Tecnológico de Costa Rica por estos años de excelencia académica y las herramientas que fortalecieron mi formación profesional. De forma muy especial, agradezco a mi pareja y familia, quienes han sido un pilar fundamental a lo largo de este proceso. Su apoyo constante, comprensión y motivación fueron determinantes para superar cada reto y alcanzar este objetivo.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

# Capítulo 1: Marco teórico

El marco teórico de esta investigación establece las bases conceptuales necesarias para comprender las problemáticas, enfoques y herramientas que intervienen en la estimación de materiales y el control del avance de obra dentro del contexto constructivo. En esta sección se presentan los fundamentos de la gestión de proyectos, la figura del ingeniero residente en la fase de ejecución, las ineficiencias propias de los métodos tradicionales y los aportes de la metodología BIM como nuevo paradigma para mejorar estos procesos. Además, se incorporan enfoques estratégicos como *Lean Construction*, el mapeo de flujo de valor y los lineamientos nacionales e internacionales que orientan la adopción de tecnologías digitales en la industria. Este sustento teórico brinda el contexto necesario para justificar la propuesta de integración desarrollada en este trabajo.

## 1.1. Fundamentos de la gestión de proyectos en la industria de la construcción

Para contextualizar la necesidad de optimizar los procesos de estimación y control en la fase de ejecución, es fundamental establecer primero las bases conceptuales que rigen la gestión de proyectos en el sector construcción. Esta sección explora los paradigmas actuales, el rol crítico del ingeniero residente y los desafíos de productividad que justifican la búsqueda de nuevas metodologías.

### 1.1.1. El paradigma de la gestión de proyectos de construcción

La gestión de proyectos de construcción ha evolucionado desde enfoques rígidos hacia marcos de trabajo más flexibles y adaptativos. Para comprender esta transición, es necesario analizar los principios y dominios de desempeño que definen las buenas prácticas actuales, los cuales sirven como referencia para evaluar y mejorar los flujos de trabajo en cualquier fase del proyecto.

#### 1.1.1.1. Principios de gestión de proyectos según la guía PMBOK

La gestión de proyectos se entiende como una disciplina que aplica conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas con el propósito de alcanzar los objetivos definidos y cumplir con los requisitos establecidos. En este ámbito, la guía del *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) se ha consolidado como uno de los referentes más utilizados a nivel mundial.

La séptima edición de la guía PMBOK (Project Management Institute, 2021) representa un cambio significativo en el enfoque de la disciplina, al pasar de un modelo prescriptivo basado en procesos a un marco fundamentado en principios. Este nuevo paradigma reconoce que no existe un único método para gestionar todos los proyectos y promueve una visión más flexible y adaptable, donde se otorga relevancia al contexto, al trabajo en equipo y a la generación de valor. En este sentido, se introducen 12 principios que orientan el comportamiento de los profesionales y la toma de decisiones, así como 8 dominios de desempeño que identifican áreas clave que deben atenderse para lograr resultados exitosos. Entre los principios destacan la

necesidad de enfocarse en la entrega de valor, fomentar un entorno colaborativo y adaptar la gestión según las particularidades del proyecto.

No obstante, la sexta edición del PMBOK (Project Management Institute, 2017) sigue siendo de gran utilidad en la práctica profesional, ya que proporciona un marco más detallado y estructurado en torno a procesos y grupos de procesos. Esta versión identifica 49 procesos organizados en cinco grupos: inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control, y cierre. A diferencia de las fases de un ciclo de vida, estos grupos no son lineales ni exclusivos, sino que interactúan entre sí a lo largo de todo el desarrollo del proyecto. Por ejemplo, las actividades de monitoreo y control se llevan a cabo de manera continua desde la fase inicial hasta la culminación del proyecto.

De manera complementaria, el ciclo de vida genérico de un proyecto puede dividirse en cuatro fases: inicio, organización y preparación, ejecución del trabajo y cierre. Estas fases, generalmente representadas de forma secuencial, implican la culminación de entregables que permiten avanzar de una etapa a otra. Una característica importante de este ciclo es la dinámica de los recursos y los riesgos: en las fases iniciales los costos y la demanda de personal son bajos, alcanzan su punto máximo durante la ejecución y disminuyen hacia el cierre. De manera inversa, la incertidumbre y los riesgos son más altos al comienzo del proyecto y tienden a reducirse conforme se avanza y se toman decisiones clave.

Particularmente, la fase de ejecución adquiere una importancia central, pues en ella los planes previamente establecidos se materializan mediante el uso intensivo de recursos. Es también en esta fase donde las deficiencias en la estimación tienden a manifestarse en forma de sobrecostos, retrasos o incumplimiento de objetivos, lo que resalta la necesidad de contar con mecanismos efectivos de control del avance y desempeño del proyecto.

### **1.1.1.2. Dominios de desempeño clave: planificación, trabajo del proyecto y entrega**

Dentro de los ocho dominios de desempeño del PMBOK, tres son esenciales para el análisis de los procesos en estudio: el dominio de planificación, que implica la organización y coordinación necesarias para lograr los resultados esperados; el dominio del trabajo del proyecto, que se hace alusión al establecimiento de los procesos y la gestión de los recursos en campo; y el dominio de la entrega, que se enfoca en cumplir con el alcance y la calidad para generar valor (Project Management Institute, 2021).

Estos dominios están entre sí conectados ya que una deficiencia en la estimación de materiales impacta directamente el trabajo del proyecto y compromete la entrega final, afectando el costo, el tiempo y la calidad (Mattos & Valderrama, 2014).

### **1.1.2. El ingeniero residente como eje central en la fase de ejecución**

Dentro del complejo proceso de la fase constructiva, la figura del ingeniero residente emerge como un actor fundamental, cuya gestión diaria impacta directamente el éxito del proyecto. Para dimensionar el alcance de su rol, es indispensable definir con claridad sus responsabilidades y, en particular, sus funciones críticas en las áreas de estimación y control de avance, que son el foco de esta investigación.

El ingeniero residente es el representante técnico del contratista en la obra, cuyo rol es multifacético, abarcando responsabilidades técnicas, administrativas y legales para dirigir la ejecución del proyecto conforme a los planos, especificaciones y contrato (Aponte, 2016). Actúa como el enlace entre la oficina técnica y las operaciones en campo, y su gestión impacta directamente en la calidad, el costo y el tiempo de entrega de la obra.

Dentro de su amplia rama de responsabilidades, dos funciones son centrales para esta investigación:

- **Estimación de cantidades de obra:** El ingeniero residente es el encargado de interpretar, traducir los planos y transmitir los requerimientos del proyecto. Esto incluye la estimación de cantidades de materiales como el concreto y el acero de refuerzo, la gestión de su solicitud y la coordinación con el personal de campo para asegurar su entrega en tiempo y forma (Aponte, 2016).
- **Control del avance de obra:** Es responsable del seguimiento diario del progreso, la verificación del cumplimiento del cronograma y, de manera crítica, la certificación de las cantidades de obra ejecutada. Esta última función es la base para la tramitación de pagos, lo que le da una alta responsabilidad financiera y contractual (Orvañanos, 2002).

### 1.1.3. Ineficiencias tradicionales desde la óptica de *Lean Construction*

Para comprender la naturaleza de las ineficiencias que afectan la gestión de obras, resulta fundamental analizarlas bajo la óptica de *Lean Construction*. Esta filosofía ofrece un marco conceptual que permite reclasificar los problemas tradicionales no como simples errores, sino como fallos sistémicos en el flujo de valor. *Lean Construction* es una adaptación de los sistemas de producción enfocada en maximizar el valor para el cliente mientras se minimizan sistemáticamente los desperdicios, conocidos en su terminología como 'muda'. Estas son actividades que consumen recursos (tiempo, materiales, mano de obra), pero que no agregan valor tangible al producto final entregado al cliente.

Si bien la literatura clásica de *Lean* identifica hasta ocho tipos de desperdicio (como inventarios excesivos o talento no utilizado), esta investigación delimita el análisis a aquellos que impactan directamente los flujos de información y la gestión administrativa del ingeniero residente. Se ha priorizado este subconjunto específico debido a su recurrencia crítica en los procesos de oficina técnica y su potencial de mitigación mediante la digitalización, dejando fuera del alcance de este estudio aquellos desperdicios puramente físicos del proceso constructivo.

Las ineficiencias en los procesos tradicionales del ingeniero residente pueden ser clasificadas y analizadas bajo este marco

- **Sobre-procesamiento:** Realizar trabajo innecesario o más complejo de lo requerido. La estimación manual de materiales ("cuantificación") a partir de planos 2D es un ejemplo claro. Implica que un profesional altamente cualificado invierta horas en una tarea repetitiva de cálculo y medición que podría ser automatizada, extrayendo los datos directamente de un modelo de información.
- **Defectos:** Errores que requieren corrección o retrabajo. Los errores de cálculo en la cuantificación manual pueden llevar a una compra insuficiente de material (causando paradas en la obra) o a un exceso de compra (generando desperdicio y sobrecostos). De manera similar, un control de avance subjetivo puede resultar en pagos incorrectos a subcontratistas, generando disputas que deben ser resueltas posteriormente.
- **Esperas:** Tiempo perdido esperando el siguiente paso en un proceso. El ciclo de aprobación de pagos a subcontratistas es un ejemplo de este desperdicio. El ingeniero residente debe esperar el reporte del subcontratista, luego el subcontratista debe esperar la verificación y aprobación, generando un cuello de botella administrativo que retrasa los flujos financieros.
- **Transporte y movimiento:** Movimiento innecesario de personas o materiales. Aunque menos evidente, la necesidad del ingeniero de desplazarse constantemente para verificar manualmente el avance reportado por múltiples subcontratistas representa un desperdicio de movimiento, restándole tiempo para la supervisión técnica y la planificación proactiva.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

#### 1.1.4. Desafíos de productividad en el sector construcción y el contexto costarricense

La industria de la construcción, a pesar de su importancia económica, enfrenta un desafío histórico relacionado con el estancamiento de su productividad. Este fenómeno, documentado a nivel global, tiene también manifestaciones locales que impactan la competitividad del sector en Costa Rica, evidenciando la urgencia de adoptar enfoques innovadores que permitan superar estas limitaciones estructurales.

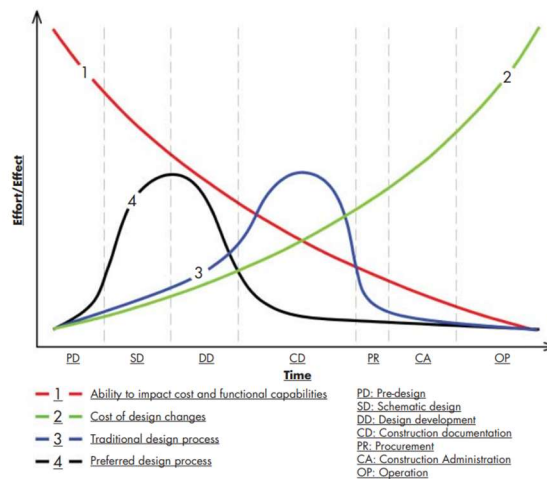
Históricamente, la industria de la construcción ha mostrado un crecimiento de la productividad laboral inferior al de otros sectores. Un informe del Instituto Global McKinsey (Barbosa et al., 2017) señala que este crecimiento ha promediado solo un 1% anual en las últimas dos décadas. Este estancamiento se debe a que los procesos de producción están desorganizados y a que no se ha adoptado nueva tecnología con suficiente rapidez.

En el contexto costarricense, el sector construcción es un pilar económico fundamental, aunque enfrenta retos significativos en materia de productividad y gestión que impactan directamente el cumplimiento de los plazos y la competitividad general, lo que hace notar la necesidad de modernizar sus procesos.

Este estancamiento se debe, en gran parte, a que tradicionalmente el mayor esfuerzo del proyecto se concentra en las fases de documentación y construcción, momento en el cual el costo de realizar cambios es exponencialmente alto. La metodología BIM busca corregir esta ineficiencia fundamental, desplazando el esfuerzo hacia las fases tempranas de diseño, donde la capacidad de impactar el resultado es máxima y el costo del cambio es mínimo, tal como se ilustra en la curva de MacLeamy presente en la Figura 1.

En dicha figura se observa cómo, bajo un enfoque tradicional, el esfuerzo se concentra tardíamente, mientras que el enfoque propuesto por BIM redistribuye ese esfuerzo hacia etapas tempranas del proyecto. Esto permite aprovechar mejor la capacidad de decisión y reducir el costo de las modificaciones, consolidando un proceso de diseño más eficiente y colaborativo.

**Figura 1.** Curva de MacLeamy: relación entre esfuerzo, costo y capacidad de impacto a lo largo del ciclo del proyecto.



Fuente: Adaptado de MacLeamy, 2004, citado en Eastman et al., 2011.

## **1.2. Análisis de los procesos tradicionales de estimación y control de obra**

Para justificar la propuesta de integración de la metodología BIM, es indispensable realizar primero un análisis crítico de los flujos de trabajo que se busca optimizar. Esta sección se adentra en los métodos convencionales que aún predominan en la fase de ejecución, describiendo en detalle los procedimientos manuales para la estimación de materiales y el seguimiento del avance de obra, con el fin de identificar sus limitaciones.

### **1.2.1. Estimación de materiales de obra**

Uno de los pilares en la gestión de recursos durante la ejecución es la correcta estimación de materiales, un proceso que tradicionalmente depende de la cuantificación manual. Este apartado desglosa dicho procedimiento, examinando tanto las técnicas utilizadas para materiales clave como el concreto y el acero, como las consecuencias directas que los errores en esta tarea pueden generar en el éxito financiero y operativo del proyecto.

#### **1.2.1.1. La cuantificación manual de materiales y su impacto en el proyecto**

La cuantificación es el proceso de calcular las cantidades de materiales necesarios para ejecutar una obra, una tarea que tradicionalmente se realiza de forma manual a partir de la interpretación de planos 2D con herramientas como escalímetros y hojas de cálculo (Mattos & Valderrama, 2014). Este procedimiento, aplicado a materiales clave como el concreto y el acero de refuerzo, es repetitivo y altamente susceptible a errores de cálculo y transcripción, lo que a menudo exige una posterior verificación en campo como único mecanismo de control.

Esta imprecisión convierte a la estimación en una de las principales fuentes de riesgo en la construcción, ya que los errores afectan directamente al presupuesto y al cronograma. Una subestimación provoca la falta de materiales en obra, generando interrupciones y afectando la ruta crítica del proyecto, mientras que una sobreestimación conduce a sobrecostos y desperdicio (Orvañanos, 2002). De hecho, se estima que el retrabajo y las ineficiencias derivadas de una mala estimación pueden costar hasta un 12% del valor total del contrato, lo que puede hacer que un proyecto sea financieramente un fracaso (Love, 2002).

### **1.2.2. Control del avance de obra: métodos convencionales de seguimiento**

Paralelo a la gestión de materiales, el control del avance físico y financiero de la obra es una función crítica del ingeniero residente. Los métodos convencionales para esta tarea se basan en gran medida en la verificación manual y la documentación. A continuación, se describen estas técnicas y se analizan las profundas implicaciones que un seguimiento impreciso puede tener en la gestión contractual y la salud financiera del proyecto.

#### **1.2.2.1. Técnicas de verificación manual del progreso en campo**

El control de avance tradicionalmente se basa en la inspección visual y en mediciones manuales realizadas por el personal técnico durante recorridos de obra. La información recopilada se documenta en informes, bitácoras o tablas de pago en hojas de cálculo. Este método es lento, subjetivo y propenso a errores, lo que

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

genera una latencia entre la ejecución real y la disponibilidad de la información para la toma de decisiones (Carvajal, 2018).

### **1.2.2.2. Implicaciones de un control de avance impreciso**

Un control de avance deficiente genera una pronunciada asimetría de la información, una situación especialmente crítica en la gestión de subcontratistas y proveedores de servicio. En este flujo de trabajo, el proveedor es quien reporta su propio avance, iniciando un proceso de cobro que posiciona al ingeniero residente en un rol reactivo.

La responsabilidad del ingeniero, por tanto, se convierte en una labor de auditoría que consume un tiempo considerable, pues debe verificar en campo la veracidad de lo reportado antes de aprobar un pago. Este ciclo de reporte y verificación es una fuente constante de fricción y desconfianza entre ambas partes, ya que cualquier discrepancia puede interpretarse como un intento de cobro indebido o como una traba administrativa.

Las consecuencias de esta imprecisión son graves, ya que un reporte de avance que no refleja la realidad del campo erosiona la confianza entre las partes y genera una notable pérdida de control financiero. Esta situación a menudo conduce a un aumento de disputas contractuales, que se manifiestan en desacuerdos sobre los montos de pago y retrasos en la facturación, siendo una de las principales causas de conflictos en la construcción en Latinoamérica (Valdés, Acevedo, Acuña, & Molina, 2023).

## **1.3. La metodología BIM como nuevo paradigma para la gestión de la construcción**

Frente a las carencias de los procesos tradicionales, la industria ha buscado nuevos enfoques que permitan una gestión más integrada, precisa y colaborativa. En este contexto, la metodología de Modelado de Información para la Construcción (BIM) emerge como una solución transformadora. Esta sección aborda los fundamentos de BIM, sus aplicaciones directas en la fase de ejecución y la importancia de los estándares que rigen su implementación.

### **1.3.1. Building information modeling (BIM)**

Es fundamental entender que BIM (*Building Information Modeling*) no es un software, sino una metodología de trabajo colaborativo para la gestión de la información de un proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida (Aponte, 2016). En el "BIM Handbook" la definen como un proceso que involucra la creación y el uso de un modelo de información inteligente y tridimensional que permite informar y comunicar las decisiones del proyecto (Sacks, Eastman, Lee, & Teicholz, 2018). Las herramientas de software son los medios que habilitan esta metodología, pero el verdadero valor de BIM reside en la "I" de *Information* y en los procesos que se construyen en torno a ella.

### **1.3.2. Niveles de madurez BIM**

Para evaluar la integración de BIM en una organización, (Bew, 2008) propusieron un modelo de madurez que clasifica la adopción en niveles progresivos. El Nivel 0 se refiere al uso de CAD sin colaboración. El Nivel 1 combina CAD 2D para documentación y 3D para visualización, pero sin compartir datos de forma estructurada. El Nivel 2, considerado el estándar de trabajo colaborativo actual, implica que cada disciplina

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

crea sus propios modelos 3D y los comparte a través de un formato común en un Entorno Común de Datos (CDE). Finalmente, el Nivel 3 representa la integración total en un único modelo compartido en la nube en tiempo real (iBIM). Este marco permite diagnosticar qué tan avanzada está una empresa en sus procesos digitales.

### 1.3.3. El nivel de desarrollo (LOD) como estrategia de modelado

Dentro del ecosistema BIM, un concepto crucial para la gestión de la información es el Nivel de Desarrollo (LOD). Es importante distinguir el LOD de su término análogo, el "Nivel de Detalle" (*Level of Detail*). Mientras que el Nivel de Detalle se refiere a la complejidad gráfica o visual de un elemento del modelo, el Nivel de Desarrollo es un concepto más amplio que define el grado de fiabilidad y el uso autorizado de la información (tanto gráfica como no gráfica) contenida en ese elemento en una etapa específica del proyecto. En esencia, el LOD indica cuánto se puede confiar en un elemento del modelo para tomar decisiones específicas como análisis, estimación de costos o coordinación.

La especificación del BIM Forum establece una escala numérica, generalmente de 100 a 500, para definir estos niveles:

- **LOD 100 (Conceptual):** El elemento se representa de forma genérica o simbólica. La información es aproximada y se utiliza para estudios de viabilidad y análisis de masas.
- **LOD 200 (Diseño esquemático):** El elemento se modela con cantidades, tamaño, forma y ubicaciones aproximadas. Es útil para la coordinación básica entre disciplinas y para resolver conflictos espaciales importantes.
- **LOD 300 (Diseño detallado):** El elemento se modela con precisión en cuanto a cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información es lo suficientemente detallada como para generar documentos de construcción.
- **LOD 350 (Coordinación de construcción):** Incluye los detalles del LOD 300 más las partes, soportes y conexiones necesarias para la coordinación con otros sistemas del edificio. Permite un análisis de interferencias detallado.
- **LOD 400 (Fabricación y montaje):** El elemento se modela con el detalle suficiente para su fabricación. Incluye información específica del producto, números de pieza e instrucciones de montaje.
- **LOD 500 (As-Built):** El elemento es una representación verificada en campo de lo que se construyó, incluyendo tamaño, forma, ubicación y cantidad reales. Se utiliza para la gestión de operaciones y mantenimiento.

La aplicación del LOD es una decisión estratégica. No todos los elementos de un modelo necesitan alcanzar el mismo nivel de desarrollo en todas las fases del proyecto. Una estrategia de modelado selectivo implica definir qué nivel de desarrollo es necesario para cada elemento en función de los usos BIM planificados. Por ejemplo, modelar cada barra de acero de refuerzo a un LOD 400 es una tarea que consume una cantidad inmensa de tiempo y recursos de modelado. Si el objetivo principal para el ingeniero residente es la cuantificación para la compra de materiales, y no la generación de planos de despiece para fabricación, puede ser mucho más eficiente modelar los elementos de concreto a un LOD 300/350 (para obtener volúmenes precisos) y gestionar la información del acero de refuerzo a través de documentos 2D.

### **1.3.4. Usos de BIM aplicados a la ejecución de obra**

El valor de la metodología BIM en la fase de ejecución reside en su capacidad para ofrecer soluciones directas a las ineficiencias sistémicas o desperdicios, identificados por filosofías como *Lean Construction*. En lugar de ser meras funcionalidades tecnológicas, los usos de BIM actúan como contramedidas específicas a los problemas de sobre-procesamiento, defectos y esperas que caractericen a los flujos de trabajo tradicionales.

A continuación, se analizan las dimensiones 3D, 4D y 5D no como conceptos abstractos, sino como los fundamentos teóricos para optimizar la estimación de materiales y el seguimiento del avance, atacando la causa raíz de dichos desperdicios.

#### **1.3.4.1. BIM 3D: el modelo como base de datos para la cuantificación**

Como respuesta directa al sobre-procesamiento inherente a la cuantificación manual y al riesgo de defectos por errores de cálculo, el uso de BIM 3D transforma el modelo en una base de datos paramétrica y centralizada. A diferencia de un plano 2D, que requiere interpretación y medición manual, un modelo 3D contiene objetos inteligentes con atributos geométricos y no geométricos.

Esta estructura permite la extracción automatizada y precisa de cantidades (Quantity Take-Off), un proceso que no solo reduce drásticamente el tiempo invertido por el personal técnico en tareas repetitivas, sino que también minimiza la probabilidad de error humano. Al funcionar como una "única fuente de la verdad", el modelo 3D asegura que las cuantificaciones reflejen fielmente el diseño, sentando las bases para una estimación de materiales fiable y una reducción del desperdicio en obra. Un aspecto clave es que el modelo sirve como punto de partida para calcular con exactitud las cantidades de materiales requeridos, lo que repercute directamente en el control de costos, la programación y la optimización de recursos (Carvajal, 2018).

#### **1.3.4.2. BIM 4D: la vinculación del tiempo para el control de avance**

Este uso, conocido como la cuarta dimensión de BIM, consiste en vincular los elementos del modelo 3D con las actividades de un cronograma de obra (Kymmell, 2008). El resultado es una simulación visual del proceso constructivo que permite realizar un seguimiento del progreso real contra el planificado, siendo el fundamento teórico para la mejora del control de avance (Vilcapoma, 2019).

#### **1.3.4.3. BIM 5D: la vinculación del costo para la estimación de materiales**

La quinta dimensión de BIM asocia la información de costos a los elementos del modelo. Al vincular las cantidades extraídas del modelo con bases de precios, se pueden generar cuantificaciones de costos más precisas y dinámicas, lo que constituye la base teórica para la optimización de la estimación de materiales (Carvajal, 2018).

### **1.3.5. Estandarización de la gestión de la información: la norma ISO 19650**

La efectividad de una metodología colaborativa como BIM depende de la existencia de un marco de trabajo claro y consensuado que garantice la calidad y coherencia de la información. La serie de normas ISO 19650 proporciona este marco a nivel internacional. Por ello, es fundamental analizar sus principios y conceptos

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

clave, como el Entorno Común de Datos (CDE), que aborda directamente el problema de la fragmentación de la información en los proyectos de construcción.

### **1.3.5.1. Principios y conceptos de las normas ISO 19650-1 y 19650-2**

La serie de normas ISO 19650 establece un marco internacional para la gestión de la información en proyectos que utilizan BIM. La parte 1 define los conceptos y principios generales, mientras que la parte 2 se enfoca en la fase de desarrollo de los activos (diseño y construcción) (Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, 2019). Su objetivo es asegurar la calidad y coherencia de la información compartida entre todos los involucrados.

### **1.3.5.2. El entorno común de datos (CDE) como solución a la fragmentación**

Un concepto central de la ISO 19650 es el Entorno Común de Datos (CDE), que funciona como el pilar tecnológico para la gestión colaborativa de la información. El CDE se establece como la fuente única y fiable de información para el proyecto, operando generalmente sobre una plataforma en la nube donde se recopila, gestiona y difunde de manera controlada toda la documentación.

Su propósito fundamental es abordar directamente el problema crónico de la fragmentación, evitando que los equipos trabajen con datos aislados o desactualizados, lo cual es una causa frecuente de errores y retrabajos en la construcción. Al centralizar toda la información en un solo lugar, el CDE garantiza que todos los actores involucrados, desde la oficina técnica hasta el personal en campo, trabajen consistentemente con la versión más actualizada de los datos, creando así una "única fuente de la verdad" (Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, 2019).

Esto no solo mejora la coherencia y la calidad de las decisiones, sino que también fomenta la transparencia y crea un registro auditable de todo el intercambio de información a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

## **1.4. Integración de herramientas BIM en los flujos de trabajo del ingeniero residente**

Una vez establecidos los fundamentos teóricos de la metodología BIM, el siguiente paso es analizar su aplicación práctica en el entorno de la obra. La verdadera transformación ocurre cuando las capacidades de BIM se integran directamente en las rutinas diarias del personal de campo. Esta sección explora cómo herramientas específicas pueden optimizar las tareas del ingeniero residente, abordando la estimación de materiales y el control de avance desde un enfoque digital y comparando sus ventajas frente a los métodos convencionales.

### **1.4.1. Optimización de la estimación de materiales con *model take-off***

Para abordar la ineficiencia y el riesgo de error producto de la cubicación manual, la metodología BIM ofrece procesos de extracción de datos automatizados. El concepto de *model take-off* representa un cambio fundamental en la cuantificación de materiales. A continuación, se detalla este proceso, explicando cómo la vinculación de las cantidades a la geometría del modelo permite obtener datos precisos y fiables, reduciendo drásticamente el tiempo dedicado a esta labor.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

#### **1.4.1.1. El proceso de extracción automatizada de cantidades (*quantity takeoff*)**

El *Model Take-Off* es el proceso de extraer cantidades de materiales de forma automatizada desde el modelo BIM. A diferencia de la cuantificación manual, que depende de la interpretación humana de planos 2D y cálculos propensos a errores, este método consulta directamente la base de datos del modelo. Al estar vinculadas a la geometría y los datos de cada objeto digital, las cantidades se derivan matemáticamente de los elementos modelados (Junqui, Muñoz, Briones, & Cedeño, 2022).

Sin embargo, es importante señalar que la precisión de esta extracción depende intrínsecamente de la calidad del modelado. El modelo paramétrico no es infalible; si los elementos no se modelan correctamente o no cumplen con el Nivel de Desarrollo (LOD) estipulado para la etapa constructiva, la extracción automatizada replicará esos errores. Por tanto, para lograr una cuantificación exacta, el modelo debe desarrollarse bajo estrictos estándares de ejecución y revisión, ya que el software no tiene la capacidad de corregir decisiones humanas de diseño o modelado deficientes.

Una vez asegurada la calidad del modelo, la eficiencia operativa se convierte en una ventaja notable. Este proceso bien ejecutado puede reducir el tiempo dedicado a la cuantificación hasta en un 80% (Giel & Issa, 2011), liberando al ingeniero residente de una labor repetitiva para que pueda enfocarse en actividades de mayor valor añadido, como la planificación estratégica y la gestión de la calidad en el proyecto.

#### **1.4.2. Digitalización del control de avance**

La digitalización del control de avance implica un cambio de paradigma: pasar de un seguimiento subjetivo y basado en documentos estáticos a un proceso objetivo y dinámico, donde el modelo BIM actúa como una línea base interactiva. Esto se habilita mediante el uso de herramientas de gestión en obra que permiten al ingeniero residente interactuar con el modelo 3D directamente en el sitio del proyecto a través de dispositivos móviles.

Este enfoque permite certificar el estado de los elementos constructivos, registrar el progreso mediante listas de comprobación digitales y adjuntar evidencia fotográfica georreferenciada, creando un registro digital trazable. Este método elimina la asimetría de información y proporciona datos fiables para la elaboración de informes de avance y la aprobación de pagos.

#### **1.4.3. Comparación de metodologías de estimación y control de obra**

La adopción de metodologías basadas en BIM no debe ser vista como un reemplazo absoluto de los métodos tradicionales, sino como una evolución que potencia las capacidades del equipo de construcción. El método tradicional ha sido el pilar de la industria durante décadas y posee una resiliencia probada en el entorno de la obra. Su punto fuerte radica en la adaptabilidad de las personas para resolver imprevistos que no están contemplados en los planos.

Por otro lado, la integración de BIM ofrece una capa de precisión y eficiencia que los métodos manuales no pueden alcanzar. La extracción automatizada de cantidades reduce drásticamente el riesgo de errores de cálculo, mientras que el control de avance digital proporciona un registro objetivo y trazable del progreso (Carvajal, 2018). Sin embargo, es crucial reconocer que el éxito de estas herramientas digitales depende estrechamente de la calidad del modelo de información y de la robustez de los procesos definidos.

Un modelo con información incompleta o un flujo de trabajo de automatización mal implementado pueden generar resultados peores que los métodos tradicionales. Por lo tanto, la mejora no consiste en despreciar lo tradicional, sino en integrarlo con las nuevas capacidades digitales, creando un sistema híbrido

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

donde la tecnología automatiza las tareas repetitivas y propensas a errores, liberando al ingeniero residente para que pueda aplicar su experiencia y criterio en la toma de decisiones estratégicas de mayor valor (Valdés, Acevedo, Acuña, & Molina, 2023).

## 1.5. Marcos estratégicos para la implementación y mejora continua

La simple adopción de una herramienta tecnológica como BIM no garantiza por sí sola una mejora en los procesos. Para que su implementación sea exitosa y sostenible, es crucial enmarcarla dentro de estrategias de gestión que fomenten la eficiencia y la correcta adopción. Esta sección final del marco teórico aborda los marcos conceptuales que guiarán el diseño y la validación de la propuesta, incluyendo metodologías ágiles para el rediseño de procesos, la inteligencia de negocios para la toma de decisiones, la alineación con las políticas nacionales y las estrategias para una implementación gradual y controlada.

### 1.5.1. Metodologías ágiles: lean construction y value stream mapping (VSM)

Para optimizar los flujos de trabajo de estimación y control, es útil recurrir a filosofías de gestión enfocadas en la eliminación de desperdicios y la maximización del valor. La metodología *Lean Construction* ofrece el marco conceptual para este fin. A continuación, se exploran sus principios fundamentales, la herramienta del Mapeo de Flujo de Valor (VSM) para el análisis de procesos y la sinergia natural que existe entre esta filosofía y la tecnología BIM.

#### 1.5.1.1. Principios de *lean construction* para la reducción de desperdicios

*Lean Construction* es una filosofía de gestión, adaptada de los sistemas de producción, que se enfoca en una doble meta: maximizar el valor para el cliente y, de forma paralela, minimizar sistemáticamente los desperdicios (actividades que no agregan valor, como los retrabajos, las esperas o el exceso de inventario).

El cambio de paradigma que propone esta filosofía es fundamental: en lugar de gestionar tareas de forma aislada, lo que a menudo genera silos entre disciplinas y cuellos de botella, el enfoque se centra en la creación de un flujo de trabajo continuo y predecible. Esto implica una planificación colaborativa para reducir la variabilidad y las interrupciones, asegurando que los recursos y la información lleguen justo a tiempo. Esta optimización del flujo global, en vez de la simple optimización de partes individuales, es la razón por la cual su aplicación ha demostrado mejorar la eficiencia en los proyectos de construcción (Martínez, Botello, & Montelongo, 2019).

#### 1.5.1.2. Aplicación del *value stream mapping* (VSM) para el análisis y rediseño de procesos

El *Value Stream Mapping* (VSM) es una herramienta fundamental de *Lean* que permite visualizar y analizar el flujo de materiales e información a lo largo de un proceso completo. Su poder radica en su capacidad de crear una representación gráfica clara de todas las etapas, haciendo evidentes los puntos de fricción. La metodología consiste en mapear el estado actual ("As-Is") para identificar con precisión los desperdicios — como tiempos de espera, procesos redundantes o cuellos de botella—, y luego diseñar un mapa del estado futuro ("To-Be") que proponga un flujo de trabajo optimizado, ágil y enfocado en la entrega de valor (Martínez,

Botello, & Montelongo, 2019). Este ejercicio es clave para pasar de la simple identificación de un problema a la formulación de una solución estructurada.

La metodología consiste en dos pasos:

1. **Mapear el estado actual ("As-Is"):** Se crea una representación gráfica del proceso tal y como ocurre en la realidad, identificando todas las etapas, los tiempos de ciclo, los tiempos de espera y los puntos donde se generan desperdicios.
2. **Diseñar el estado futuro ("To-Be"):** A partir del análisis del mapa "As-Is", se diseña un nuevo flujo de trabajo optimizado que elimina o reduce los desperdicios identificados, enfocándose en la creación de un flujo continuo y ágil.

Dada su probada eficacia para el diagnóstico de procesos en la industria, esta investigación adopta formalmente la primera fase del VSM ("As-Is") como el marco analítico principal para la ejecución del primer objetivo específico. Esta decisión permite no solo describir los flujos de trabajo vigentes en Estructuras S.A., sino también clasificarlos sistemáticamente bajo las categorías de desperdicio de *Lean Construction*, sentando una base objetiva para la posterior propuesta de integración.

### 1.5.1.3. BIM como habilitador de la filosofía *Lean*

Existe una fuerte sinergia entre BIM y *Lean Construction*, ya que ambas filosofías comparten el objetivo fundamental de optimizar los procesos y maximizar el valor en un proyecto. La relación no es de simple compatibilidad, sino que BIM funciona como la plataforma tecnológica que potencia y facilita la aplicación práctica de los principios *Lean*.

La transparencia, la precisión de los datos y la colaboración que ofrece BIM actúan como un habilitador tecnológico para la implementación exitosa de los principios *Lean* (Aponte, 2016). Por ejemplo, la reducción de desperdicios (un pilar de *Lean*) se ve directamente beneficiada por la precisión del modelo, que minimiza el exceso de compra y evita retrabajos mediante la coordinación 3D. Esta optimización técnica se consolida a través de la colaboración en un Entorno Común de Datos (CDE), la cual fomenta un flujo de trabajo transparente y continuo que asegura que toda la cadena de valor tenga acceso a información fiable y actualizada, mejorando así la planificación y la toma de decisiones.

### 1.5.2. *Business intelligence* (BI) y gestión visual

El *Business Intelligence* (BI) se define como una disciplina que, mediante el uso de tecnologías y metodologías, busca convertir los datos de una organización en información y, a partir de esta, descubrir conocimiento para mejorar la toma de decisiones y la competitividad (Cano, 2007). En la construcción, el BI busca romper los silos de información para ofrecer una visión holística (conjunto) del rendimiento del proyecto.

Una de las herramientas líderes para la aplicación de BI es Microsoft Power BI, una plataforma que permite conectar múltiples fuentes de datos y crear *dashboards* (paneles de control) interactivos (Ferrari & Russo, 2016). Un *dashboard* bien diseñado se convierte en una herramienta de gestión visual que centraliza la información clave, traduce datos complejos en gráficos intuitivos y facilita una toma de decisiones proactiva y basada en evidencia, en lugar de en reportes históricos.

La implementación de un *dashboard* de BI, por tanto, no es solo una solución de visualización, sino un catalizador que obliga a la estandarización de los procesos de captura de datos, impulsando una mayor madurez en la gestión de la información (Ferrari & Russo, 2016).

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

### **1.5.3. Alineación con la estrategia nacional BIM de Costa Rica**

La Estrategia Nacional BIM de Costa Rica, liderada por el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN), constituye una iniciativa de carácter país que busca transformar el sector construcción mediante la adopción progresiva de la metodología BIM. Esta hoja de ruta plantea como ejes centrales el incremento de la productividad, la eficiencia y la sostenibilidad en la industria, además de promover la transparencia en los procesos, la optimización en la gestión de recursos y la competitividad frente a los mercados internacionales (MIDEPLAN, 2020).

Dentro de sus objetivos principales se encuentra el fortalecimiento de las capacidades de los distintos actores que participan en el ciclo de vida de los proyectos, lo cual incluye desde instituciones públicas y privadas hasta profesionales de la ingeniería, la arquitectura y la construcción. simultáneamente, la estrategia contempla la creación de factores habilitantes, entendidos como las condiciones normativas, técnicas y organizativas necesarias para facilitar la implementación de BIM en el país.

Este enfoque responde a la necesidad de superar las limitaciones de los métodos tradicionales de gestión de proyectos, que suelen presentar brechas en cuanto a coordinación, eficiencia y control de la información. BIM, en cambio, se plantea como un modelo colaborativo y digitalizado que centraliza los datos y permite una mayor integración entre las distintas disciplinas, reduciendo errores, sobrecostos y retrasos.

En un sentido más amplio, la Estrategia Nacional BIM se inserta en la agenda de modernización del estado y del sector productivo costarricense, alienado con tendencias globales que sitúan la digitalización y la innovación tecnológica como motores de desarrollo económico y social. De esta manera, su implementación no se limita a un cambio metodológico, sino que representa un proceso de transformación cultural y organizacional que impacta la manera en que se conciben, planifican, ejecutan y operan las obras de infraestructura en el país.

### **1.5.4. Implementación gradual y validación mediante proyectos piloto**

La introducción de nuevas tecnologías y flujos de trabajo en una organización consolidada presenta desafíos que van más allá de lo técnico, abarcando aspectos culturales y de gestión del cambio. Para mitigar la resistencia y asegurar una adopción exitosa, la estrategia de implementación es clave. Este apartado final analiza el rol fundamental de los proyectos piloto como entornos de validación controlada y la importancia del diseño de manuales de usuario como herramientas pedagógicas para facilitar la asimilación de los nuevos procesos.

#### **1.5.4.1. El rol del proyecto piloto en la adopción tecnológica**

La implementación de nuevas tecnologías en una organización consolidada implica retos importantes, tanto económicos como culturales, debido a los costos de inversión en hardware, software y capacitación, así como a la resistencia natural al cambio que suelen presentar los equipos de trabajo (Carvajal, 2018). En este contexto, la utilización de un proyecto piloto resulta una estrategia útil de gestión del cambio, ya que permite a los involucrados experimentar los beneficios de la innovación en un entorno controlado, favoreciendo su aceptación antes de una adopción a mayor escala (Fazli et al., 2014, citado en Carvajal, 2018).

Un piloto funciona como un laboratorio en vivo que permite a la empresa validar los nuevos flujos de trabajo de manera crucial, gestionar la resistencia al cambio al proporcionar un entorno de bajo riesgo donde el personal puede familiarizarse con el software y los nuevos métodos de trabajo. Esta capacitación gradual facilita la adaptación cultural y permite recopilar lecciones aprendidas para asegurar una futura implementación más fluida y eficiente.

### 1.5.4.2. Diseño de manuales de usuario

La elaboración de manuales de usuario constituye un elemento clave para garantizar la correcta asimilación de nuevos flujos de trabajo en las organizaciones. Un manual efectivo no debe concebirse únicamente como una recopilación de pasos o instrucciones, sino como un recurso pedagógico que facilite el aprendizaje autónomo y la transferencia del conocimiento hacia la práctica profesional.

Para lograrlo, resulta esencial considerar principios de diseño instruccional, entendidos como un conjunto de lineamientos que, basados en teorías del aprendizaje, permiten estructurar experiencias de enseñanza claras, progresivas y adaptadas a las necesidades del usuario final (Branch, 2009).

En el contexto del sector construcción, y particularmente en roles como el del ingeniero residente, el enfoque constructivista adquiere una especial relevancia. Este paradigma sostiene que el aprendizaje se construye activamente a partir de la experiencia y los conocimientos previos, lo que implica que los materiales de apoyo deben vincular los nuevos procedimientos con situaciones reales de la obra.

Bajo esta perspectiva, los manuales de usuario se transforman en herramientas dinámicas que no solo prescriben tareas, sino que promueven la comprensión de la lógica detrás de los procesos, fomentando la capacidad del profesional para resolver problemas en escenarios cambiantes.

Por tanto, un manual de usuario bien diseñado debe integrar ejemplos prácticos, representaciones gráficas, explicaciones paso a paso y espacios para la reflexión del usuario sobre su propia práctica. De este modo, más que ser un documento rígido, se convierte en un instrumento de aprendizaje activo que acompaña la adopción de la innovación tecnológica y contribuye a una transición organizacional más efectiva y sostenible.

En concordancia con lo anterior, el diseño de los materiales de capacitación para esta investigación se fundamenta en estos principios pedagógicos para garantizar la operatividad de la propuesta de integración en Estructuras S.A. Al adoptar un enfoque constructivista, los manuales y procedimientos desarrollados no solo documentan el uso del software, sino que buscan reducir la curva de aprendizaje de los ingenieros residentes, sirviendo como el puente entre la complejidad técnica de BIM y la realidad operativa de la obra. De esta forma, la teoría instruccional sustenta directamente el objetivo de implementación, asegurando que la transferencia tecnológica sea asimilable y que los resultados obtenidos durante la validación piloto reflejen una adopción real de las herramientas y no solo una imposición administrativa.

# Capítulo 2: Metodología

La metodología de este proyecto se estructura para comprender de forma precisa el funcionamiento actual de los procesos en obra y, a partir de ello, validar la propuesta de integración de la metodología BIM. En esta sección se describe el enfoque de la investigación, el tipo de estudio realizado y la manera en que cada objetivo específico orienta la recolección y el análisis de datos. Asimismo, se explican las técnicas empleadas —como la observación, entrevistas, revisión documental y el uso del *Value Stream Mapping*— que permiten diagnosticar la realidad operativa de la empresa y fundamentar el diseño y la implementación de la propuesta. Este capítulo establece cómo se construyó la ruta metodológica que sostiene los resultados presentados más adelante.

## 2.1. Enfoque y tipo de investigación

El presente trabajo se desarrolló bajo un enfoque cualitativo con carácter descriptivo–propositivo, orientado a comprender y optimizar los procesos de estimación y control del avance de obra en la empresa Estructuras S.A. Este enfoque permitió analizar el funcionamiento real de los procedimientos técnicos y administrativos durante la ejecución de proyectos, así como identificar oportunidades de mejora asociadas al uso de herramientas digitales basadas en la metodología BIM.

La investigación se estructuró como un estudio de caso, centrado en la empresa Estructuras S.A. y específicamente en el proyecto del Colegio Técnico Profesional (CTP) de Guatuso, el cual sirvió como escenario para observar, validar y aplicar las propuestas. Esta aproximación permitió un entendimiento contextual de las dinámicas operativas y de los factores humanos que intervienen en la gestión del proyecto.

En cuanto a su alcance, se clasifica como descriptiva, ya que permitió caracterizar el estado actual de los procesos, e igualmente como propositiva, por desarrollar una propuesta de integración progresiva de las herramientas BIM dentro de los flujos de trabajo existentes. A nivel metodológico, se adoptó un diseño no experimental y transversal, basado en la observación directa y la interacción con el personal técnico, sin intervenir en las condiciones naturales de los procesos.

## 2.2. Estructura metodológica por objetivos específicos

La metodología se organizó de forma cronológica, de acuerdo con los objetivos específicos del proyecto. Cada fase se diseñó para producir información útil al cumplimiento del objetivo general y, en conjunto, construir una propuesta aplicable a los procesos de la empresa.

### 2.2.1. Objetivo específico 1

En correspondencia directa con el marco conceptual establecido en la sección 1.5.1, para cumplir con este primer objetivo se abordó una fase de diagnóstico del estado actual (*As-Is*) de los procesos de estimación de materiales y control de obra. Para ello, se operacionalizó la filosofía *Lean Construction* a través de su herramienta de Mapeo de Flujo de Valor (*Value Stream Mapping* - *VSM*).

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

Esta elección metodológica se justifica por la idoneidad del VSM, discutida en el marco teórico, para visualizar flujos de trabajo, identificar sistemáticamente los "desperdicios" (muda) y establecer una línea base objetiva para la propuesta de integración. El proceso se ejecutó a través de un mapeo detallado de los flujos de trabajo vigentes y un listado de las principales limitantes y necesidades, con el fin de identificar las oportunidades de mejora.

La unidad de análisis seleccionada fue el proyecto CTP de Guatuso. Para recabar la información, se identificó como sujetos de información al personal clave: el ingeniero residente, Jimmy Madriz; el bodeguero, Moisés Malespín; ingenieros residentes y directores de otros proyectos y el director del departamento de Construcción Virtual, Antony Vásquez Flores.

La recolección de datos se llevó a cabo mediante la combinación de tres técnicas cualitativas. Primero, se empleó la observación participante, que implicó una inmersión en el día a día del proyecto para observar de manera directa los flujos de trabajo, documentando los eventos clave en registros de observación. Segundo, se realizaron entrevistas semiestructuradas con los sujetos de información para profundizar en los detalles de los procesos, utilizando una guía de entrevista para cada rol. Finalmente, se efectuó una revisión documental de los modelos de información BIM, los planos de taller y los manuales de modelado del proyecto.

El proceso de análisis de la información cualitativa recolectada se basó en el análisis de contenido. Se transcribieron las entrevistas y se organizaron los registros para luego comparar los datos de las distintas fuentes y así construir una descripción densa y validada de la realidad. De este análisis se derivaron los productos esperados, que incluyen los diagramas de flujo "As-Is", una descripción detallada de la jerarquía de trabajo, los roles involucrados y los principales afectados, y una evaluación sobre la capacidad de los modelos BIM y las habilidades del personal residente.

## **2.2.2. Objetivo específico 2**

Con base en los hallazgos obtenidos en el diagnóstico, la segunda fase se orientó a identificar las estrategias y usos BIM más pertinentes para atender las deficiencias detectadas en los procesos actuales. La metodología para lograrlo se basó en una triangulación de datos teóricos y prácticos.

Primero, se desarrolló una revisión bibliográfica sistemática de fuentes académicas y técnicas, incluyendo las normas ISO 19650, la Estrategia Nacional BIM Costa Rica y publicaciones del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA). Este proceso permitió identificar las mejores prácticas y lineamientos formales.

Paralelamente, para contrastar la información teórica con la aplicabilidad real en la industria, se realizó una consulta a expertos mediante entrevistas semiestructuradas. El criterio de inclusión para esta fase fue su reconocida trayectoria internacional y nacional en la implementación de metodologías BIM en proyectos de ejecución. Se consultó a profesionales como Yenny Osorio (EEUU), Anderson Reyes (Costa Rica) y Néstor Del Pozo (España), quienes aportaron criterios prácticos para definir los usos BIM prioritarios.

El análisis de ambas fuentes (bibliografía y entrevistas) permitió establecer como principales los usos asociados a la cuantificación automatizada de volúmenes (BIM 3D) y al control digital del avance de obra. Estos hallazgos sirvieron como base para la fase de diseño, traducándose en un conjunto de lineamientos estratégicos y diagramas de flujo conceptuales que definen la lógica operativa de la adopción gradual, alineados con la capacidad técnica de la empresa.

### 2.2.3. Objetivo específico 3

En esta etapa, la investigación se enfocó en el diseño de la propuesta de integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra. Esta fase representó el paso intermedio entre el diagnóstico (OE1) y la implementación (OE4), en el que se articularon los hallazgos previos para generar una solución técnica viable.

La metodología de diseño se ejecutó mediante dos actividades principales. Primero, se realizó una fase de evaluación tecnológica. Para recopilar los datos técnicos sobre las plataformas candidatas (Autodesk y Dalux), se realizaron consultas técnicas y entrevistas semiestructuradas a especialistas de producto (ej. Juan Castillo, Costa Rica; Néstor Del Pozo y Julián Chaur, España; Lucio Custo, Argentina). Los datos obtenidos sirvieron como insumo principal para aplicar un Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA), estructurado a partir de una matriz comparativa que valoró cada herramienta según criterios ponderados como funcionalidad central, usabilidad, integración y costo total. Como resultado, se seleccionaron Autodesk Takeoff y Dalux BIM Data Files.

Segundo, se procedió a la estructuración del nuevo esquema de trabajo. Para esto se volvió a emplear la herramienta de Mapeo de Flujo de Valor (VSM), permitiendo construir los diagramas de flujo de carriles (*swimlanes*) "To-Be". Estos diagramas detallan la interacción paso a paso entre los actores y los nuevos roles. Adicionalmente, la metodología de diseño incluyó la elaboración de documentación técnica normativa (Procedimientos Operativos Estándar y Guías de Usuario) para estandarizar la ejecución de los nuevos procesos.

### 2.2.4. Objetivo específico 4

La última fase consistió en la implementación práctica de la propuesta en el proyecto piloto Pabellón 5 del CTP Guatuso, bajo un esquema de validación participativa con los ingenieros residentes y el Departamento de Construcción Virtual.

Las sesiones de validación se estructuraron como Sesiones de Acompañamiento Técnico (SAT) breves y controladas. En ellas se demostraba el funcionamiento de las herramientas, se realizaban ejercicios de aplicación directa sobre el modelo y se registraban observaciones sobre su uso. Estas sesiones se centraron en la extracción de cantidades (Takeoff) y el registro de avance (Dalux), generando no solo realimentación cualitativa, sino también datos cuantitativos de eficiencia. Se midieron indicadores de desempeño (tiempos de ejecución y pasos operativos) para realizar un análisis comparativo entre el método tradicional y el propuesto.

A partir del análisis de los resultados, se formularon propuestas de implementación gradual y protocolos de estandarización. Los productos finales de esta fase incluyen el reporte de realimentación (integrado por las tablas de eficiencia y planes de mitigación) y una matriz de contraste que vincula el cumplimiento de los objetivos con las lecciones aprendidas, consolidando así la utilidad práctica del proyecto para Estructuras S.A.

## 2.3. Forma de presentación de los resultados

Los resultados de esta investigación se presentaron utilizando una combinación de formatos que se adecuaron a la naturaleza de los datos y facilitaron su comprensión y análisis. La presentación se estructuró acorde con los productos correspondientes a cada objetivo específico, garantizando una trazabilidad clara entre la metodología aplicada y los hallazgos obtenidos.

Para la presentación de los resultados del diagnóstico (OE1), se empleó una combinación de elementos visuales y textuales. Los flujos de trabajo actuales se ilustraron mediante diagramas de flujo "As-Is" (Figuras 2, 3, 4, 5), los cuales permitieron visualizar de manera clara las secuencias de actividades y los actores involucrados. Los hallazgos del VSM se sistematizaron en una matriz de "desperdicios" (Tabla 1), mientras que las limitantes y capacidades de los recursos se expusieron a través de descripciones textuales fundamentadas en el análisis de contenido.

Los hallazgos del segundo objetivo (OE2) se consolidaron en la propuesta técnica, principalmente en formato de prosa argumentativa que sintetizó la revisión bibliográfica, apoyándose en una matriz de diagnóstico y solución (Tabla 2) y en diagramas de flujo conceptuales (Figuras 7 y 8) que definen la lógica de las estrategias de planificación visual y extracción de datos.

El diseño de la propuesta (OE3) se presentó de manera dual. Por un lado, los nuevos flujos de trabajo se visualizaron mediante diagramas de flujo de carriles (*swimlanes*) (Figuras 14 y 20), que detallan paso a paso la interacción operativa en los escenarios "To-Be". Por otro lado, los manuales de usuario y SOP se incluyeron como documentos estructurados en los apéndices (Apéndices P, Q, R, S). Asimismo, se incorporaron las matrices del Análisis de Decisión Multicriterio (Tablas 4, 5, 10, 11 y 12), que fundamentaron la selección de herramientas.

Finalmente, el reporte de realimentación correspondiente al proyecto piloto (OE4) se presentó como un informe integral que combina lo cualitativo y lo cuantitativo. Este informe integró las observaciones de campo y los testimonios de los ingenieros en tablas de plan de mitigación (Tablas 15 y 16), y se complementó con matrices de eficiencia operativa (Tablas 17 y 18) que aportan datos duros sobre el desempeño. Las conclusiones del piloto se sintetizaron en una matriz de contraste (Tabla 19) que vincula el cumplimiento de objetivos con las lecciones aprendidas.

# Capítulo 3: Resultados y análisis

En este capítulo se presentan los resultados de la investigación, organizados según cada uno de los objetivos específicos del proyecto.

Se expondrán los hallazgos de manera ordenada, comenzando con el diagnóstico de la situación actual en la empresa. A partir de esta base, se presentará el desarrollo de las estrategias de mejora, el diseño de la propuesta y, finalmente, los resultados de su validación.

## 3.1. Diagnóstico

Esta sección presenta los resultados del primer objetivo específico, el cual consistió en realizar un diagnóstico de la situación actual en la empresa Estructuras S.A. El análisis se centró en mapear los flujos de trabajo vigentes para la estimación de materiales y el control de obra, para así identificar con precisión sus limitantes, ineficiencias y las necesidades estratégicas de la organización.

La investigación utilizó como caso de estudio principal el proyecto 400-MEP-CTP\_Guatuso de codificación interna en la empresa. Para asegurar una visión más completa y representativa de la empresa, los hallazgos fueron complementados y validados a través de entrevistas con personal clave de otros proyectos.

### 3.1.1. Diagnóstico de los procesos actuales ("As-Is")

Para identificar las oportunidades de mejora, es indispensable primero comprender y documentar los procesos tal y como ocurren en la realidad del día a día. Con este fin, se llevó a cabo una fase de diagnóstico para obtener una comprensión profunda de los procesos en la empresa Estructuras S.A. La estrategia se centró en un estudio de caso, utilizando como proyecto principal el 400-MEP-CTP\_Guatuso, y se enriquecieron los hallazgos con entrevistas a personal de otros proyectos para lograr una adecuada comprensión de la organización.

A continuación, se detalla el mapeo de los flujos de trabajo actuales para la estimación de materiales y el control del avance de obra. Esta descripción ha sido construida a partir de la combinación de la observación directa en campo y la información validada a través de entrevistas semiestructuradas con el personal directamente involucrado en dichas labores.

#### 3.1.1.1. Proceso de estimación de materiales

El flujo de trabajo para la estimación de materiales en la etapa de ejecución sigue un procedimiento que combina la previsión, la cuantificación por parte de los ingenieros y la verificación en campo. En la entrevista de validación (ver Apéndice A), el ingeniero residente, Jimmy Madriz, confirma que el proceso busca "prever el trabajo que se va a realizar en semanas próximas", ya que "tener que salir corriendo a solicitar materiales con entrega inmediata encarece el proyecto".

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

Esta necesidad de anticipación es un punto clave en la gestión de los ingenieros, como lo corrobora el director de proyecto Oscar Corrales, quien desde su experiencia como residente recuerda la que la curva de trabajo es enorme al inicio de los proyectos por tareas como la planificación de las compras, especialmente de materiales de importación (ver Apéndice C).

El proceso general, validado como una práctica estándar en la empresa por múltiples ingenieros (ver Apéndices A, D, E, F), se desarrolla de la siguiente manera:

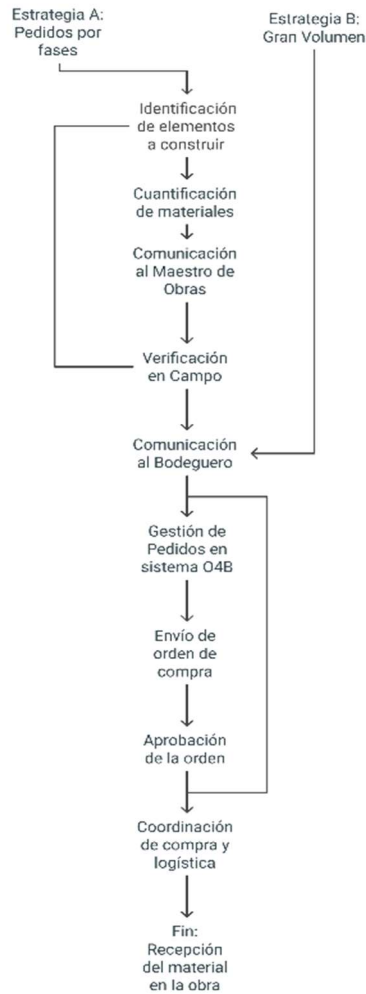
1. **Identificación de la necesidad:** El ingeniero residente, en conjunto con el maestro de obras, identifica los elementos estructurales o arquitectónicos que se construirán a futuro.
2. **Cuantificación de materiales:** El ingeniero residente procede a cuantificar los materiales necesarios, principalmente acero de refuerzo y concreto. Como se documentó en los registros de observación (ver Apéndice G), esta tarea se basa en la interpretación de planos y el uso de software como "OST Takeoff", y demanda una parte considerable del tiempo del ingeniero.
3. **Verificación y comunicación en campo:** La información cuantificada por el ingeniero se traslada al maestro de obras. Como mecanismo de control para reducir el error humano, todos los ingenieros entrevistados confirman la práctica de una doble verificación, especialmente para el concreto, donde el maestro de obras realiza su propia cuantificación en sitio para contrastar los resultados.
4. **Gestión de pedidos:** La información de los materiales requeridos se comunica al bodeguero del proyecto. Como se detalla en la entrevista con Moisés Malespín (ver Apéndice B), este actor es el medio operativo por el cual se transmite la información con la oficina central, siendo el responsable de centralizar y gestionar todos los pedidos de la obra a través del sistema O4B.
5. **Proceso de adquisición:** El bodeguero monta la orden de compra, la cual es enviada al jefe de proveeduría en la oficina central. Una vez aprobada, se coordina la compra y la logística para su recepción en campo y su debida distribución en el proyecto.

Aunque el flujo general es consistente, el análisis de las entrevistas revela diferentes estrategias operativas en la gestión del acero, adaptadas por los ingenieros según su experiencia y las condiciones del proyecto. Mientras en el proyecto de Guatuso se realizan pedidos por fases, otros ingenieros como Edwin Hernández y Fabián Matamoros (ver Apéndices E y F) prefieren solicitar un gran volumen del acero del proyecto (entre un 70% y 80%) al inicio para crear un inventario en sitio.

Según Edwin Hernández esta es la manera más sencilla para no tener que estar recurriendo a solicitudes de volúmenes bajos, además, se elimina la preocupación por la falta de material en la obra. Esta estrategia busca mitigar el riesgo de desabastecimiento y se protege contra la volatilidad de los precios, dejando un margen para ajustes finales o para incorporar las frecuentes órdenes de cambio.

Para visualizar la estructura operativa descrita, la Figura 2 esquematiza el proceso general de estimación de materiales en obra. Este diagrama sintetiza la secuencia lógica que siguen los ingenieros residentes, desde la revisión de planos hasta la solicitud, ilustrando los puntos críticos de decisión donde se aplican las estrategias de aprovisionamiento (por fases o por volumen) analizadas anteriormente.

**Figura 2.** Proceso de estimación de materiales en obra.



### 3.1.1.2. Proceso de control del avance de obra

El control del avance de obra, fundamental para la gestión financiera del proyecto, se gestiona a través de un sistema de tablas de pago que se actualizan mensualmente. El ingeniero residente, Jimmy Madriz, confirma en su entrevista (ver Apéndice A) que el flujo de trabajo se divide en dos esquemas paralelos y distintos: uno externo con el cliente y otro interno con los subcontratistas. Esta práctica fue validada como un estándar en la empresa por los ingenieros David Garita y Fabián Matamoros (ver Apéndices D y F).

1. **Control general (Estructuras S.A. – Inspección):** Este procedimiento se aplica para gestionar el avance de la obra directamente con el cliente y su equipo de inspección. El proceso se basa en una tabla de pagos general, la cual desglosa el monto total del contrato en distintas actividades. Mensualmente, el ingeniero residente prepara una propuesta de avance, donde asigna un porcentaje de ejecución a cada una de estas actividades.

Dicha propuesta se envía a la inspección para ser revisada de manera conjunta durante la visita en sitio. Como parte del procedimiento, es habitual que los inspectores soliciten ajustes a los porcentajes, lo que lleva a una validación final de común acuerdo. Una vez que el avance es aprobado

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

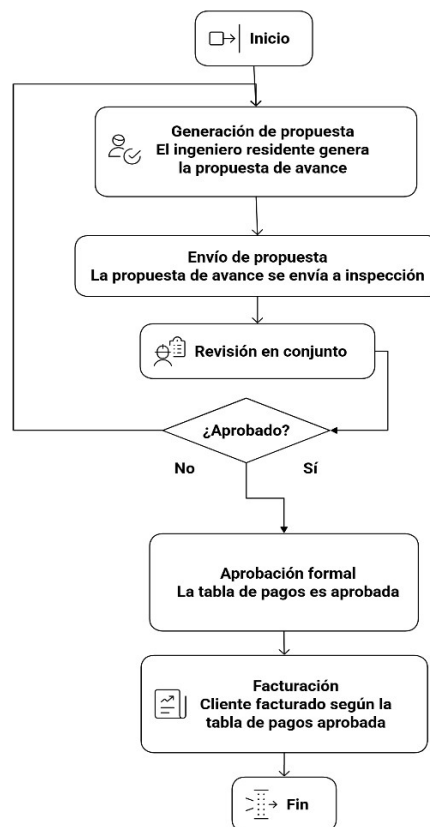
por ambas partes, se genera la tabla de pagos definitiva, que funciona como el respaldo oficial para emitir la factura al cliente.

2. **Control de subcontratistas (Estructuras S.A. – Proveedores):** Este es un procedimiento interno que opera de forma paralela al control con el cliente. A diferencia del flujo anterior, este es iniciado por cada proveedor de servicios, quien gestiona y presenta su propia propuesta de avance, a menudo denominada "subtabla".

La responsabilidad principal del ingeniero residente de Estructuras S.A. consiste en validar que las cantidades y los porcentajes reportados por el subcontratista reflejen fielmente el trabajo ejecutado en campo. Esta etapa de verificación es fundamental, ya que, como se mencionó en las entrevistas, es el principal mecanismo de control para asegurar la exactitud de los pagos. Una vez que el ingeniero aprueba el documento, se autoriza la facturación por parte del proveedor. Generalmente, este control se realiza de forma quincenal, aunque para los contratos de mayor volumen la frecuencia es mensual. (ver Apéndices E y F).

Para evidenciar la interacción entre estos dos esquemas de gestión financiera, la Figura 3 modela gráficamente el flujo de control de avance. El diagrama detalla la bifurcación de los procedimientos descritos: por un lado, el ciclo de negociación y validación mensual con la inspección externa para la facturación al cliente, y por otro, el ciclo de revisión de las "subtablas" presentadas por los proveedores. De esta forma, se visualizan los puntos críticos de verificación a cargo del ingeniero residente que garantizan la coherencia entre lo ejecutado y lo pagado.

**Figura 3.** Proceso de control del avance de obra.



### 3.1.2. Diagnóstico de "desperdicios" (Muda) en los flujos de trabajo

Aplicando el marco analítico de *Lean Construction* al mapeo de procesos, el diagnóstico permitió traducir las "limitaciones y puntos de fricción" observados en categorías específicas de "desperdicio" (muda), conforme a la tipología presentada en el marco teórico. A continuación, se detallan los hallazgos clave que evidencian la presencia de estas ineficiencias, las cuales limitan la productividad del ingeniero residente y representan las principales oportunidades de mejora.

#### 3.1.2.1. Hallazgos en la estimación de materiales

Aunque el proceso de estimación está estructurado, se identifican limitantes que introducen un riesgo considerable y consumen un tiempo valioso del personal de campo. Una de las más importantes, validada por el ingeniero residente, es que los documentos base del proyecto no siempre son fiables, lo que genera una incertidumbre inicial que puede comprometer la programación de las primeras etapas constructivas. En el caso de estudio, por ejemplo, los planos en formato PDF presentaban dificultades para su manejo debido a protecciones adicionales; esta condición, aparentemente menor, complicaba la consulta ágil y diaria de la información en la obra (ver Apéndice A).

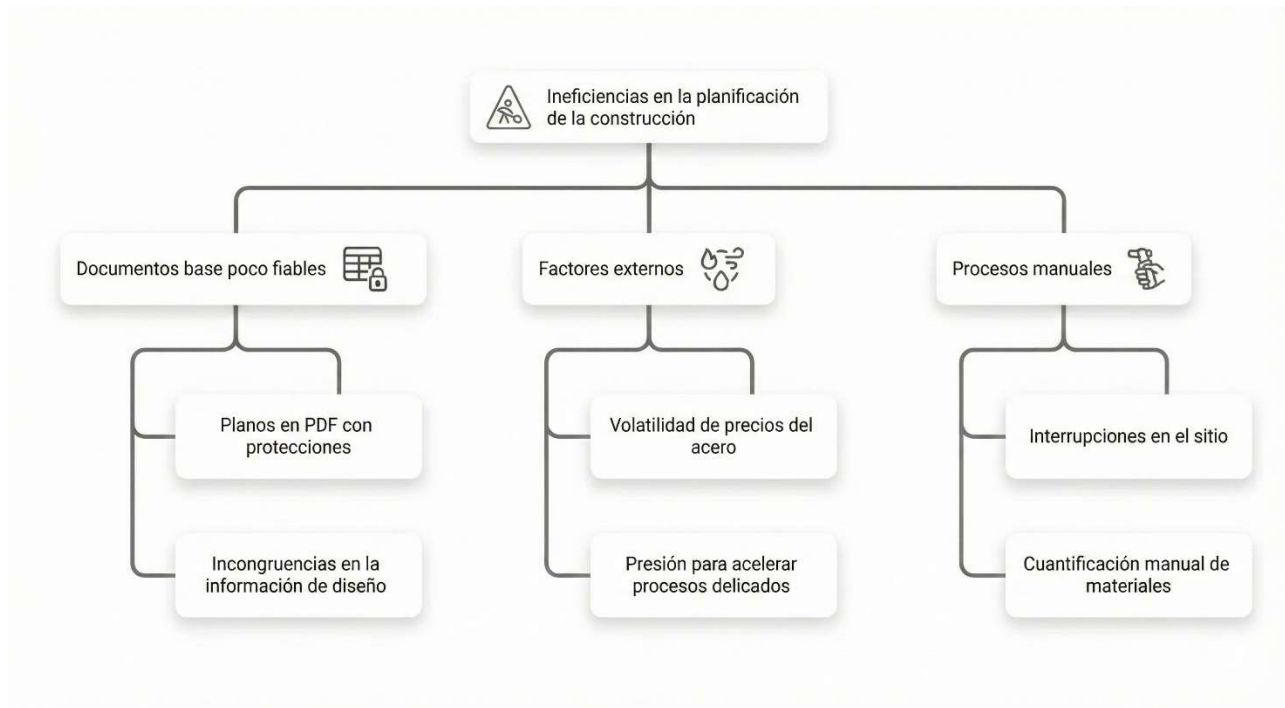
Esta situación es una manifestación de un problema más profundo y recurrente: la frecuente existencia de incongruencias en la información de diseño. Tal como lo confirma el director de proyecto, los documentos iniciales a menudo no pueden considerarse planos de trabajo definitivos, ya que es responsabilidad del ingeniero residente organizar y adaptar la información antes de que el equipo de construcción pueda ejecutarla (ver Apéndice C). Esta labor de "traducción" de los planos de diseño a instrucciones de construcción implica un análisis detallado para detectar errores, omisiones o conflictos que no fueron resueltos en la fase previa. Por lo tanto, esta necesidad de verificar, corregir y adaptar los planos representa una carga de trabajo no planificada y una fuente constante de posibles retrasos.

Sumado a esto, como se documentó en los registros de observación (ver Apéndice G), la cuantificación de materiales es una tarea enteramente manual que consume un tiempo significativo del ingeniero. Este proceso requiere una alta concentración para minimizar errores, una condición difícil de mantener en un ambiente de obra propenso a interrupciones constantes. El director de proyecto recuerda que, en sus tiempos de residente, esta labor se realizaba utilizando herramientas básicas y a menudo debía ser completada fuera del horario laboral para poder cumplir con los plazos (ver Apéndice C).

Esta dependencia del proceso manual se ve agravada por factores externos, como la volatilidad en los precios del acero, que obliga a realizar la cuantificación de manera urgente para asegurar el material y evitar sobrecostos, según lo expresado por el ingeniero David Garita (ver Apéndice D). La presión por acelerar un proceso manual tan delicado incrementa el riesgo de imprecisiones, cuyas consecuencias pueden ser la falta de material en obra o, por el contrario, el desperdicio por exceso de compra.

Para sistematizar el impacto de estos factores, la Figura 4 presenta una síntesis estructurada mediante un diagrama de árbol. Esta representación gráfica desglosa las limitantes detectadas en ramificaciones que conectan las causas origen (como la documentación deficiente y la dependencia de procesos manuales) con sus consecuencias operativas directas, facilitando la visualización de cómo estos elementos se traducen en riesgos de cronograma y sobrecarga laboral para el ingeniero residente.

**Figura 4.** Limitaciones y consecuencias en la estimación.



### 3.1.2.2. Hallazgos en el control del avance de obra

El proceso de control de avance con los subcontratistas presenta problemas constantes que generan cuellos de botella administrativos. El flujo de trabajo parte de un desbalance de información, ya que es el subcontratista quien inicia el proceso de cobro al presentar su propio reporte de avance. Esta dinámica obliga al ingeniero residente a una verificación continua de la información que recibe. Como lo describe uno de los ingenieros entrevistados, se asume que los contratistas a menudo intentarán cobrar más de lo que les corresponde, por lo que es responsabilidad del ingeniero de Estructuras S.A. validar que el avance reportado sea correcto, una tarea que "lleva tiempo" (ver Apéndice A).

Esta revisión manual y repetitiva de los avances de múltiples subcontratistas se convierte en un cuello de botella administrativo para el ingeniero residente. La labor de medir en campo, comparar con los planos y validar cada uno de los pagos consume una parte importante de su jornada. Dicha tarea, aunque es necesaria para el control financiero, le resta un tiempo valioso que debería dedicar a la supervisión técnica en el sitio. Como lo detalla el mismo ingeniero, atender a varios contratistas a la vez lo desvía de sus responsabilidades en la obra, donde el maestro de obras y otros equipos requieren su atención para consultas técnicas urgentes, lo que "tiende a ser un poco complicado" (ver Apéndice A).

Esta tensión constante en el proceso de aprobación de pagos es una de las principales ineficiencias identificadas, ya que no solo retrasa los trámites, sino que también desvía el enfoque del ingeniero de la planificación del trabajo futuro a la simple validación de tareas ya ejecutadas.

Para resumir estos puntos, la Figura 5 organiza los problemas encontrados mediante un diagrama. El esquema muestra la relación directa entre la revisión manual de los reportes de los subcontratistas y la sobrecarga de trabajo del ingeniero. Básicamente, ilustra cómo el exceso de trámites administrativos termina quitándole tiempo a la supervisión técnica necesaria en la obra.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

**Figura 5.** Limitaciones y consecuencias en el control del avance.



### 3.1.2.3. Síntesis de desperdicios según el marco *Lean Construction*

El análisis de los flujos de trabajo "As-Is", interpretado a través del marco de *Lean Construction*, revela la existencia de múltiples "desperdicios" (Muda) que afectan la eficiencia y aumentan el riesgo. La Tabla 1 sistematiza estos hallazgos, conectando las actividades observadas con sus impactos directos en el proyecto.

**Tabla 1.** Matriz de "Desperdicios" (Muda) identificados en los procesos actuales.

| Proceso analizado                           | Actividad específica                                 | Tipo de desperdicio (Muda)                                                                                  | Descripción del impacto                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estimación de materiales (Acero y Concreto) | Cuantificación manual de materiales desde planos 2D. | Sobre-procesamiento:<br>Cálculos manuales.<br>Defectos: Alta susceptibilidad a errores de cálculo y omisión | Consume un tiempo significativo del ingeniero residente (4-6 horas/semanas estimadas). El riesgo de error puede llevar a sobrecostos o a retrasos por falta de material. |
|                                             | Verificación cruzada por parte del maestro de obras  | Sobre-procesamiento:<br>Duplicación de una tarea de cálculo como mecanismo de control de errores            | Aumenta la carga de trabajo del personal de campo y no elimina la raíz del problema (la imprecisión del método manual)                                                   |

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

| Proceso analizado                      | Actividad específica                                                      | Tipo de desperdicio (Muda)                                                                                                                             | Descripción del impacto                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Control de avance<br>(Subcontratistas) | Espera del reporte de avance del subcontratista                           | Espera: Tiempo inactivo del ingeniero residente esperando información para poder actuar                                                                | Genera un flujo de trabajo reactivo en lugar de proactivo                                                                                                                                  |
|                                        | Verificación manual en campo del avance reportado por cada subcontratista | Sobre-procesamiento: Re-medir y re-verificar trabajo ya ejecutado. Movimiento: Desplazamiento innecesario del ingeniero para validar múltiples frentes | Se convierte en un cuello de botella administrativo. Desvía al ingeniero de tareas de mayor valor como la supervisión técnica y la planificación. Genera una "asimetría de la información" |
|                                        | Negociaciones sobre los porcentajes de avance                             | Defectos: El proceso subjetivo                                                                                                                         | El proceso subjetivo genera negociaciones repetitivas y discrepancias entre las partes, retrasando la validación del avance real.                                                          |

Este diagnóstico demuestra que los problemas no son incidentes aislados, sino consecuencias sistémicas de flujos de trabajo tradicionales. La dependencia de procesos manuales y la falta de una fuente única y objetiva de información son las causas raíz de los desperdicios identificados.

### 3.1.3. Contexto organizacional y capacidades BIM actuales

Para completar el diagnóstico, es fundamental analizar el contexto organizacional de la empresa, evaluando sus necesidades estratégicas en relación con la implementación de BIM, así como las capacidades tecnológicas y humanas con las que cuenta actualmente.

#### 3.1.3.1. Necesidades de la empresa en la implementación de BIM

Desde una perspectiva estratégica, la principal necesidad de la empresa es maximizar el retorno de la inversión realizada en la metodología BIM. Según el director del departamento de Construcción Virtual, el principal valor que se desaprovecha una vez que el proyecto entra en su fase de construcción son los datos contenidos en los modelos, los cuales no están siendo utilizados de manera óptima por el personal en campo (ver Apéndice H).

Esta preocupación por el desaprovechamiento de los datos del modelo es compartida por la dirección de proyectos. Se señala que, aunque BIM ha resuelto problemas de coordinación en la pre-construcción, existe la inquietud de que el ingeniero residente no se involucre a fondo con la información para comprender completamente el proyecto (ver Apéndice C). La necesidad, por tanto, no es solo tecnológica, sino de negocio: se busca optimizar las labores del personal de campo para que puedan dedicarse a tareas de mayor valor en lugar de a procesos repetitivos. La visión ideal es que el ingeniero residente disponga de una plataforma que le permita utilizar los datos de los modelos de forma sencilla para sus estimaciones, sin que esto genere una carga de trabajo adicional para el departamento de Construcción Virtual (ver Apéndice H).

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

### 3.1.3.2. Jerarquía de trabajo en los procesos

El análisis de los flujos de trabajo permitió definir con claridad la jerarquía y las interacciones de los actores involucrados. Lejos de ser una estructura rígida, se observa un sistema colaborativo donde la comunicación constante es un punto clave.

En el proceso de estimación de materiales, el ingeniero residente es el punto de partida técnico y responsable de la cuantificación. Su trabajo es validado por el maestro de obras, quien aporta su experiencia de campo. Posteriormente, la información pasa al bodeguero, que actúa como gestor logístico y nexa con la oficina central. Finalmente, el departamento de proveeduría ejecuta la compra, completando un ciclo que es tanto secuencial como colaborativo.

Para el control del avance de obra, la jerarquía se divide en dos esquemas. En el esquema general con el cliente, el ingeniero residente inicia el proceso, pero la aprobación final depende de la inspección. En el esquema de subcontratistas, la dinámica se invierte: el proveedor presenta su avance y el ingeniero residente actúa como el principal filtro de aprobación antes de que se autorice el pago.

### 3.1.3.3. Capacidades BIM en Estructuras S.A.

Para comprender el potencial de mejora, es fundamental analizar el estado actual de la metodología BIM en la empresa bajo un estándar objetivo. Al evaluar los procesos de Estructuras S.A. según el modelo de madurez de Bew y Richards (descrito en la sección 1.3.2), se determina que la organización opera en un Nivel de Madurez 2 (BIM Colaborativo). Esta clasificación se sustenta en la existencia de un flujo de trabajo donde cada disciplina genera sus propios modelos 3D, los cuales se integran y coordinan mediante un Entorno Común de Datos (CDE) bajo normas definidas, superando así las etapas básicas de modelado aislado.

La gestión de la metodología está centralizada en el departamento de Construcción Virtual, que se encarga de la coordinación general de los modelos de información de los proyectos. El flujo de trabajo habitual implica la subcontratación del modelado de disciplinas principales (como arquitectura y estructura), mientras el equipo interno actúa como integrador y auditor, federando estos modelos con los de otros proveedores especializados (MEP, estructura metálica), a quienes se les exige contractualmente la entrega de sus propios modelos BIM.

Este proceso es altamente colaborativo e involucra a otros departamentos, como el de Adquisiciones Estratégicas (AE), para validar que los elementos modelados correspondan a productos comerciales estándar y así evitar sobre costos.

El ecosistema tecnológico de la empresa se compone de:

- Software de Autoría: Autodesk Revit es la principal herramienta utilizada para la creación de los modelos de información.
- Entorno Común de Datos (CDE): Se utiliza una combinación de Autodesk Construction Cloud (ACC) y Dalux para centralizar todos los documentos y modelos, asegurando que todos los involucrados trabajen con la información más reciente y siguiendo los principios de la norma ISO 19650.
- Herramienta de Campo: Dalux es la plataforma principal para el personal en obra, utilizada en dispositivos móviles (iPads) para la consulta de planos y modelos.

La empresa ha desarrollado manuales de modelado y plantillas de Revit para estandarizar la creación de contenido, la nomenclatura y la estructura de los modelos. Estas guías exigen técnicas de modelado específicas orientadas a la extracción de cantidades, lo que demuestra que los modelos se construyen con la intención de que la información sea extraíble.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

Sin embargo, se confirma una limitación: El acero de refuerzo no se modela en 3D. Esta es una decisión práctica para evitar invertir un tiempo considerable en una tarea compleja y sujeta a cambios frecuentes en obra. Esta omisión restringe la posibilidad de extraer automáticamente estas cantidades y obliga a que cualquier propuesta deba contemplar un flujo de trabajo híbrido.

El análisis de las competencias del personal de campo indica que los ingenieros residentes son "consumidores de información" y validadores, pero no modeladores expertos. Su dominio se centra en el uso funcional de Dalux en sus iPads para:

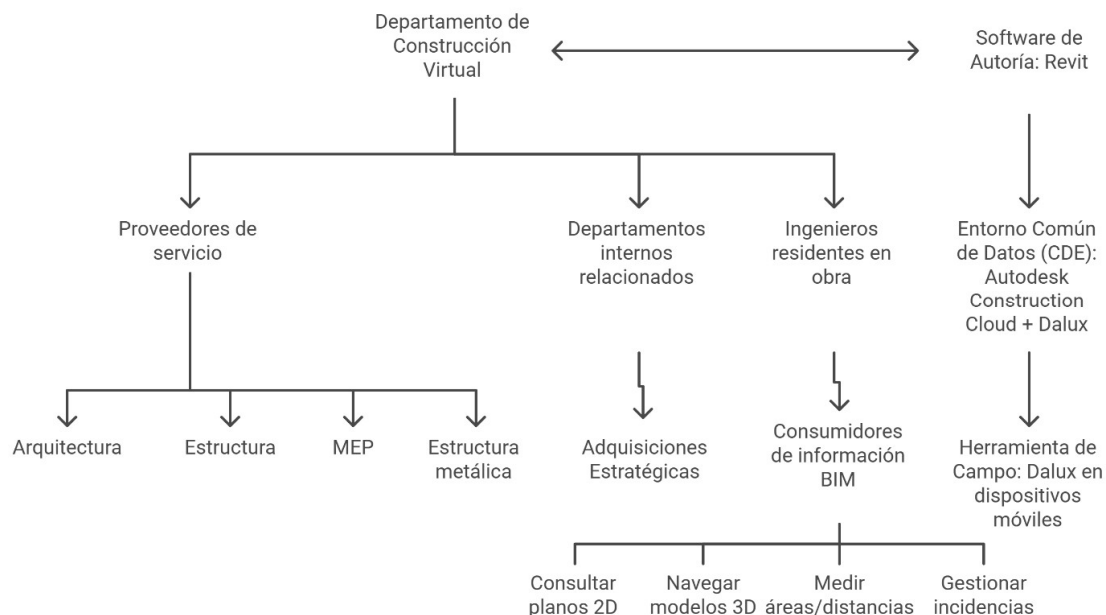
- Consultar planos 2D y navegar modelos 3D.
- Realizar mediciones básicas de áreas y distancias.
- Gestionar "ponches" o incidencias en la obra.
- Participar en reuniones de coordinación y en flujos de aprobación digital.

Los ingenieros demuestran una actitud positiva hacia la tecnología y están abiertos a adoptar nuevas herramientas. De hecho, ya han intentado utilizar Dalux para extraer cantidades de obra, lo que valida la necesidad de una herramienta más específica para esta tarea.

La principal barrera para la adopción no es la resistencia, sino la usabilidad. Cualquier nueva solución debe ser intuitiva, rápida, fiable y colaborativa para que no se sienta como una carga de trabajo adicional. Esta necesidad de equilibrio entre la automatización y el factor humano es fundamental, ya que, como lo confirma la experiencia en proyectos de alta complejidad, el éxito de la implementación depende del compromiso y seguimiento de la persona en campo, quien aporta la validación final que la herramienta por sí sola no puede realizar (ver Apéndice I).

Para sintetizar la infraestructura descrita, la Figura 6 ilustra gráficamente el ecosistema tecnológico de la empresa. El esquema integra los tres componentes analizados (software de autoría, entorno de datos y herramientas de campo), permitiendo visualizar cómo se relacionan entre sí para soportar el flujo de información desde la oficina hasta el dispositivo móvil del ingeniero residente.

**Figura 6.** Ecosistema BIM Estructuras S.A.



Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

### 3.1.4. Identificación de oportunidades de mejora

A partir del mapeo de los flujos de trabajo actuales y el análisis de las limitantes detectadas, se identifican tres áreas críticas donde la implementación de la metodología BIM ofrece una oportunidad directa para optimizar la gestión del ingeniero residente. Estas oportunidades responden a las necesidades estratégicas de la empresa y reducen la brecha entre la capacidad instalada en oficina y la ejecución en campo:

- **Automatización de la cuantificación (De manual a asistida por modelo):** Se identifica como oportunidad directa sustituir el proceso manual de cuantificación, propenso a errores y consumidor de tiempo, por un flujo de trabajo de extracción de cantidades basado en el modelo. Aprovechando que los modelos ya se generan con fines constructivos, esta mejora permitiría reducir drásticamente el tiempo administrativo dedicado a calcular materiales, mitigando los riesgos de sobrecostos por compras inexactas.
- **Digitalización y objetividad en el control de avance:** Frente a la subjetividad y duplicidad de reportes (cliente vs. subcontratistas), se identifica la oportunidad de implementar un control visual 3D. El uso del modelo como una "línea base interactiva" permitiría validar el avance físico de manera objetiva y trazable, eliminando las disputas por inconsistencias en los reportes y agilizando el flujo de aprobación de pagos.
- **Acceso a información confiable en sitio:** Dado que la incertidumbre en la documentación 2D es una causa raíz de retrasos, existe la oportunidad de habilitar el acceso directo a la data del modelo en campo. Convertir el modelo en la fuente primaria de consulta para el ingeniero residente reduciría la necesidad de "traducción" e interpretación de planos, facilitando la resolución inmediata de dudas técnicas durante la ejecución.

## 3.2. Estrategias para el uso e implementación de BIM

Habiendo diagnosticado y clasificado las ineficiencias operativas del ingeniero residente como "desperdicios" de sobre-procesamiento, defectos y esperas en la sección 3.1, este capítulo establece las contramedidas directas. El propósito es presentar las estrategias y usos BIM no como mejoras genéricas, sino como soluciones específicas y justificadas, diseñadas para atacar la causa raíz de los cuellos de botella identificados. Se construye así un puente explícito entre el problema documentado y la solución propuesta, asegurando que cada recomendación responda a una necesidad operativa real de Estructuras S.A.

### 3.2.1. Marco normativo y estratégico para la adopción de BIM

La decisión de adoptar la metodología BIM no puede ser vista únicamente como una actualización tecnológica o una optimización de procesos internos. Representa una alineación estratégica con las macro tendencias que están redefiniendo el sector de la construcción a nivel nacional e internacional.

Comprender este contexto es crucial para justificar la inversión y orientar la propuesta de manera que no solo mejore la eficiencia operativa, sino que también garantice la competitividad y viabilidad comercial de Estructuras S.A. a largo plazo.

#### 3.2.1.1. La estrategia nacional BIM de Costa Rica

El sector de la construcción en Costa Rica se encuentra en un punto de inflexión, impulsado por una iniciativa gubernamental clara y decidida hacia la digitalización. El Ministerio de Planificación Nacional y Política

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

Económica (Mideplan) ha presentado la Estrategia Nacional BIM, un plan diseñado para modernizar la construcción de infraestructura pública y fomentar el desarrollo integral del sector (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN), 2020).

Esta estrategia, cuyo plan de ejecución se estableció para el período 2020-2024, no es un esfuerzo aislado; cuenta con el respaldo de entidades como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y busca activamente la colaboración entre los sectores público, privado y académico para catalizar un cambio de paradigma hacia la denominada "construcción 4.0" (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN), 2020)

Los beneficios esperados de esta iniciativa son de gran alcance y abordan desafíos históricos de la industria. Se proyecta una reactivación económica a través de la mejora en la eficiencia, una disminución significativa de las modificaciones contractuales, y una reducción de tiempos y costos en la ejecución de proyectos (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN), 2020). Adicionalmente, la estrategia pone un fuerte énfasis en la sostenibilidad, buscando reducir el impacto ambiental mediante la optimización del uso de recursos y la disminución de residuos.

El avance de esta estrategia no se ha limitado a la publicación de documentos de lineamientos. Se está trabajando activamente en la creación de un marco legal que formalice la implementación de BIM en la obra pública. Un proyecto de ley ha sido presentado con el objetivo de establecer la obligatoriedad de la metodología en las contrataciones públicas, posicionando al Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA) como el coordinador técnico de su implementación (Chacón, 2024).

Para una empresa privada como Estructuras S.A., las implicaciones de este movimiento nacional son profundas y directas. La adopción de BIM deja de ser una opción para convertirse en una necesidad estratégica. La Estrategia Nacional no es meramente una recomendación, sino el preludio de lo que será un requisito contractual ineludible para participar en el mercado de infraestructura pública.

Las empresas que no desarrollen capacidades y flujos de trabajo basados en BIM corren el riesgo inminente de quedar excluidas de un segmento de mercado de gran volumen y relevancia. Por lo tanto, la inversión en la implementación de BIM debe ser recontextualizada: no se trata de un gasto operativo para mejorar procesos, sino de una inversión crítica en la viabilidad comercial futura de la empresa.

### 3.2.1.2. Estándares internacionales

A nivel global, la gestión de proyectos bajo la metodología BIM se rige por la familia de normas ISO 19650. Este conjunto de estándares no se enfoca en el software o en el modelado 3D en sí, sino que proporciona un marco integral para la organización y digitalización de la información a lo largo de todo el ciclo de vida de un activo construido (BIM Community, s.f.). Su adopción es fundamental para garantizar la interoperabilidad, la colaboración efectiva y la calidad de la información en proyectos complejos.

La serie se estructura en varias partes, cada una abordando un aspecto específico del proceso de gestión de la información (BIM Community, s.f.):

- **ISO 19650-1: Conceptos y principios:** Establece el marco conceptual, define la terminología clave e introduce los principios fundamentales de la gestión de la información, destacando la colaboración y la definición clara de requisitos.
- **ISO 19650-2: Fase de entrega de los activos:** Se centra en los procesos de gestión de la información durante las fases de diseño y construcción del proyecto, detallando los procedimientos para la producción y entrega de la información.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

- **ISO 19650-3: Fase operativa de los activos:** Aborda los requisitos de gestión de la información una vez que el activo ha sido entregado y se encuentra en operación, cubriendo actividades como el mantenimiento y la gestión de instalaciones.
- **ISO 19650-4: Intercambio de información:** Especifica los requisitos para el formato, la estructura y la calidad de los intercambios de información, asegurando que sean coherentes, fiables y eficientes.
- **ISO 19650-5: Enfoque de seguridad en la gestión de información:** Proporciona directrices para proteger la información sensible del proyecto, abordando riesgos de seguridad y protegiendo la propiedad intelectual.

Un concepto central y transformador introducido por la norma es el Entorno Común de Datos (CDE). El CDE es un repositorio digital centralizado que funciona como la única fuente de verdad para toda la información del proyecto (BIM Community, s.f.).

Su implementación es obligatoria bajo la norma y su propósito es asegurar que todos los involucrados en el proyecto accedan a la información más reciente y aprobada, eliminando la ambigüedad y los errores que surgen del uso de versiones desactualizadas de documentos compartidos por medios no controlados como el correo electrónico (BIM Community, s.f.).

La implementación de la ISO 19650 obliga a una empresa a reestructurar sus flujos de trabajo. Se emplea un modelo de comunicación lineal donde cada disciplina trabaja en su propio silo de información, a un modelo colaborativo y centralizado. El CDE no es simplemente una herramienta de software o una carpeta compartida en la nube; es el corazón de la filosofía de trabajo que promueve la transparencia y la trazabilidad.

Los problemas crónicos de la construcción, como los retrabajos, sobrecostos y retrasos, a menudo tienen su origen en una gestión deficiente de la información (BIM Community, s.f.). La norma ataca esta causa raíz al establecer un proceso riguroso para la producción, revisión, aprobación y compartición de la información. (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica., s.f.)

### **Aplicación estratégica de la ISO 19650 en Estructuras S.A.**

Para efectos de esta investigación, la norma ISO 19650 deja de ser un concepto teórico para convertirse en la estrategia operativa que estructurará la propuesta. Dado que el diagnóstico reveló una desconexión en el flujo de datos hacia la obra, se definen los siguientes lineamientos específicos de aplicación para Estructuras S.A., los cuales condicionan la selección y configuración de las herramientas tecnológicas:

1. **Uso vinculante del CDE:** La estrategia central consiste en eliminar los canales informales (correos, WhatsApp) como medios válidos para la transmisión de planos. Se establece que la única fuente de información válida para el ingeniero residente será aquella alojada dentro del Entorno Común de Datos (CDE) de la empresa, garantizando que el personal de campo consuma la misma "versión de la verdad" que la oficina técnica.
2. **Estandarización de contenedores de información:** Se adoptará la convención de nomenclatura existente en la empresa (basada en la norma) para organizar los archivos dentro de la herramienta de campo. Esto es crucial para que el ingeniero residente pueda localizar rápidamente la información específica (planos, especificaciones o modelos) sin depender de búsquedas manuales complejas.
3. **Gestión de estados de la información:** Para mitigar el riesgo de construir con planos obsoletos, la propuesta implementará estrictamente los estados de información definidos por la ISO (Trabajo en Curso, Compartido y Publicado). La propuesta de integración deberá filtrar automáticamente la información para que el residente en obra solo tenga acceso a documentos con estado "Publicado" o "Aprobado para construcción", bloqueando el uso de versiones preliminares no validadas.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

### 3.2.1.3. Lineamientos del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA) y el ecosistema local

La transición hacia BIM en Costa Rica no es un camino que las empresas deban recorrer en solitario. Existe un ecosistema profesional y proactivo que está construyendo las herramientas, el conocimiento y los estándares necesarios para facilitar esta adopción. El Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA) juega un papel protagónico en este proceso, no solo como ente regulador, sino como un participante de la transformación digital en el sector AECO (Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operaciones) (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica., s.f.).

El CFIA ha demostrado su compromiso a través de la organización de eventos de alto perfil como el "BIM CON", un congreso que reúne a profesionales, empresas y estudiantes para discutir las últimas tendencias y estrategias de implementación (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica., s.f.).

Además, ha establecido comisiones técnicas permanentes dedicadas a BIM, con la misión de ser un ente de referencia a nivel nacional, apoyar la implementación de la metodología y desarrollar los documentos legales y técnicos necesarios para estandarizar su uso (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica., s.f.). El rol del CFIA como coordinador técnico en el proyecto de ley para la implementación de BIM en obra pública subraya su influencia y responsabilidad en la definición de la práctica profesional futura (Chacón, 2024).

Paralelamente, otras organizaciones como la Cámara Costarricense de la Construcción, a través de su comité técnico BIM Forum Costa Rica, están generando recursos prácticos de gran valor. Un ejemplo notable es la "Guía para la elaboración de una Solicitud de Información BIM (SDI BIM)", un documento que adapta las mejores prácticas internacionales, como las de la norma ISO 19650, al contexto específico del mercado costarricense (BIM Forum Costa Rica, 2023).

Este tipo de guías proporciona a las empresas una base sólida y estandarizada para definir los requerimientos de información en sus proyectos, evitando la necesidad de "reinventar la rueda". Tomando como referencia la "Guía SDI BIM" del BIM Forum Costa Rica y los lineamientos del CFIA, se establecen los siguientes requerimientos obligatorios para la propuesta de mejora en Estructuras S.A. Esta matriz (ver Tabla 2) resume los criterios normativos locales y define cómo se aplicarán estratégicamente para garantizar que la propuesta de estimación y control cumpla con los estándares nacionales.

**Tabla 2.** Matriz de alineamiento estratégico con normativa nacional (CFIA / BIM Forum)

| Categoría del requerimiento | Lineamiento normativo (Guía SDI / ISO 19650-CR)                                                                   | Estrategia de aplicación en Estructuras S.A. (Propuesta)                                                                                                        |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Definición de usos BIM      | Se deben declarar explícitamente los usos esperados del modelo para evitar sobre-modelado o falta de información. | Enfoque en usos: La propuesta se limita estrictamente a la extracción de cantidades y revisión de campo (3D), descartando usos de mantenimiento por el momento. |
| Intercambio de información  | La información debe entregarse en formatos abiertos o nativos acordados, asegurando la interoperabilidad.         | Flujo híbrido: Se utilizarán archivos nativos (.rvt) para extracción de datos y formatos ligeros para visualización móvil en Dalux.                             |

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

| Categoría del requerimiento  | Lineamiento normativo (Guía SDI / ISO 19650-CR)                                                                 | Estrategia de aplicación en Estructuras S.A. (Propuesta)                                                                                                                     |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nivel de Información (LOIN)  | Los elementos deben contener la geometría y los datos alfanuméricos justos para el uso requerido.               | Auditoría de parámetros: Se exigirá que los elementos modelados tengan completos los parámetros de "Tipo", "Material" y "Nivel" para poder filtrarlos en las tablas de pago. |
| Entorno Común de Datos (CDE) | Uso obligatorio de un repositorio centralizado con control de versiones y estados (WIP, Compartido, Publicado). | Centralización en nube: Se prohíbe el uso de archivos locales. Todo plano o modelo consultado en obra debe provenir del CDE oficial (ACC/Dalux) en estado "Publicado".       |
| Nomenclatura                 | Los archivos deben seguir una codificación estándar para facilitar su búsqueda y organización.                  | Adopción del estándar interno: Se aplicará la codificación de la empresa alineada a la ISO 19650 para garantizar que el residente encuentre los archivos rápidamente.        |

Este ecosistema de apoyo representa una oportunidad estratégica para Estructuras S.A. La existencia de recursos locales, capacitación y una comunidad de práctica activa reduce significativamente las barreras de entrada y acelera la curva de aprendizaje. Por ello, la estrategia de adopción de BIM de la empresa no debe ser un esfuerzo aislado. Debe incluir un componente de participación en las iniciativas del CFIA y del BIM Forum Costa Rica.

### 3.2.2. Mejores prácticas aplicables a los procesos de estimación y control

Una vez establecido el marco estratégico y normativo, es necesario profundizar en las aplicaciones tecnológicas y metodológicas específicas de BIM que impactan directamente los procesos de estimación y control de obra.

Estas prácticas no son meramente teóricas; son herramientas probadas que abordan desafíos fundamentales como la gestión de la secuencia constructiva, la extracción de mediciones y la supervisión del avance en campo, conectando el modelo digital con la realidad física de la construcción.

#### 3.2.2.1. Planificación secuencial: Simulación visual del proceso constructivo

La planificación mediante simulación visual representa una de las aplicaciones de mayor impacto de la metodología BIM, al integrar la secuencia de actividades del proyecto con el modelo tridimensional (3D). El resultado es una simulación dinámica que muestra la secuencia de construcción, permitiendo a todos los involucrados "ver" el proyecto construirse virtualmente antes de que comience la ejecución física.

Las ventajas de este enfoque sobre los métodos tradicionales son sustanciales. Mientras que los planes de trabajo abstractos pueden ser difíciles de interpretar, una simulación visual comunica el plan de una manera intuitiva y comprensible para todos los niveles del equipo, desde la gerencia hasta el personal de obra. Esto mejora la comunicación y el alineamiento del equipo en torno al plan de ejecución.

El valor principal de la planificación secuencial reside en su capacidad proactiva para la gestión de riesgos. Al simular la secuencia constructiva, es posible detectar conflictos espaciales y logísticos que pasarían desapercibidos en un plan tradicional.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

Por ejemplo, se pueden identificar problemas como la falta de espacio para el acopio de materiales en una fase determinada, la interferencia entre el radio de operación de una grúa y otras actividades simultáneas, o la falta de acceso para la instalación de equipos. La detección de estos conflictos en la fase de pre-construcción permite ajustar la logística sin incurrir en las consecuencias de descubrirlos en obra.

Desde la perspectiva de los expertos de la industria, la simulación visual es una herramienta clave para anticipar desafíos logísticos. Como lo indica el Ing. Anderson Reyes (ver apéndice I), la capacidad de visualizar la secuencia de montaje de elementos prefabricados, por ejemplo, permite optimizar no solo el plan de trabajo sino también la planificación de transportes y el uso de equipos pesados, minimizando tiempos muertos en el sitio.

Por su parte, la Ing. Yenny Osorio (ver apéndice J y K) destaca que este método es invaluable para comunicar el plan de trabajo a los equipos de campo y subcontratistas, quienes pueden no estar familiarizados con la lectura de documentos complejos, asegurando que todos comprendan las dependencias y el ritmo de las actividades.

En esencia, la planificación secuencial transforma la gestión de un ejercicio teórico y reactivo a una simulación estratégica y proactiva. Para Estructuras S.A., su implementación representa una herramienta de gestión de riesgos de primer nivel.

Permite pasar de "resolver problemas" en obra a "evitar problemas" desde la oficina, mejorando fundamentalmente la predictibilidad de la ejecución y, por ende, la fiabilidad ante sus clientes.

### **Estrategia de planificación secuencial basada en parámetros de información**

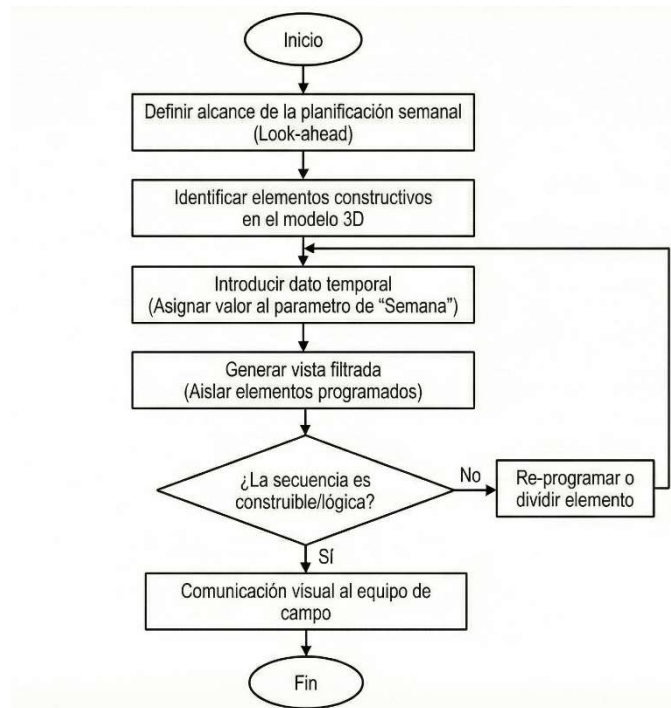
Reconociendo que la empresa requiere una transición gradual hacia la planificación 4D, se establece una estrategia de "Simulación Estática" o planificación visual por datos. En lugar de depender de animaciones complejas vinculadas a cronogramas externos (que requieren un nivel de madurez mayor), la estrategia se fundamenta en el enriquecimiento de los modelos.

El procedimiento estratégico para lograr la planificación secuencial se define de la siguiente manera:

1. **Definición de parámetros de control:** Se establece el requisito de incorporar en los modelos un parámetro de instancia específico (ej. "Semana de Ejecución" o "Fase de Colado") que permita agrupar los elementos constructivos según su temporalidad.
2. **Seguimiento del Look-ahead:** El ingeniero residente o planificador deberá alimentar este parámetro semanalmente, asignando la fecha o periodo de ejecución a los elementos correspondientes en el modelo 3D.
3. **Filtrado visual:** La herramienta tecnológica a seleccionar debe permitir la creación de "Vistas Inteligentes" que oculten todo el modelo excepto los elementos programados para el periodo actual. Esto genera una simulación visual inmediata de la secuencia constructiva sin necesidad de software de animación.
4. **Validación en campo:** Estas vistas filtradas serán el insumo principal para las reuniones de coordinación en sitio, permitiendo al equipo visualizar únicamente la meta semanal.

Para instrumentar el concepto de "Simulación Estática" sin recurrir a software externo, la Figura 7 esquematiza el procedimiento técnico necesario. La ilustración permite visualizar cómo la gestión disciplinada de los datos dentro del modelo se traduce directamente en una planificación visual clara y comunicable.

**Figura 7.** Flujo de trabajo estratégico para la planificación visual.



### 3.2.2.2. Extracción de cantidades

La metodología BIM extiende las capacidades del modelo al transformarlo en una poderosa herramienta para la gestión de materiales del proyecto. Este proceso se inicia con la extracción de cantidades, conocida como *Quantity Take-Off* (QTO).

A diferencia del método tradicional de medición manual sobre planos 2D, que es un proceso lento, tedioso y propenso a errores humanos, el QTO basado en BIM automatiza la extracción de volúmenes, áreas y conteos directamente de los elementos del modelo 3D. Esto no solo acelera drásticamente el proceso de cuantificación, sino que también incrementa significativamente la precisión y la fiabilidad de las mediciones obtenidas.

Este concepto permite vincular las cantidades extraídas con las especificaciones de los materiales, creando un modelo de información que contiene un listado detallado y dinámico de los recursos necesarios. La naturaleza dinámica de este listado es una de sus mayores ventajas: cualquier cambio realizado en el diseño del modelo (por ejemplo, cambiar el tipo de un muro, aumentar la altura de un entepiso o modificar el diámetro de una tubería) se refleja automáticamente en las cantidades.

Esta conexión en tiempo real entre diseño y cantidades rompe el silo tradicional que existe entre los departamentos. Permite que las cantidades de materiales dejen de ser una consecuencia pasiva del diseño para convertirse en una variable de diseño activa desde las etapas más tempranas.

Los equipos de proyecto y los clientes pueden evaluar el impacto de diferentes alternativas de diseño en términos de volúmenes y recursos de manera instantánea, facilitando una toma de decisiones informada y una optimización continua a lo largo del proceso.

La Ing. Yenny Osorio (ver apéndice J y K) enfatiza un punto crítico para el éxito de esta automatización: la precisión y la completitud del modelo de información son prerequisites indispensables. Si el modelo no está correctamente desarrollado, con los elementos clasificados y parametrizados adecuadamente, las cantidades extraídas serán erróneas y la estimación de materiales resultante, poco fiable.

Por otro lado, el Ing. Anderson Reyes (ver apéndice I) señala el impacto práctico de un QTO preciso en las operaciones diarias, ya que agiliza no solo la preparación de ofertas, sino también la gestión de la procura de materiales y el control de inventarios durante la fase de construcción.

Para Estructuras S.A., la adopción de flujos de trabajo de extracción de cantidades representaría una doble ventaja. Internamente, mejora la eficiencia y precisión de sus procesos de estimación y control de materiales. Externamente, transforma su propuesta de valor al cliente.

La empresa podría ofrecer un servicio de "ingeniería de valor" transparente y continuo, demostrando con datos precisos cómo cada decisión de diseño impacta en los recursos necesarios. Esto permite una optimización mucho más sofisticada y colaborativa, diferenciándola de competidores que aún operan con métodos tradicionales.

### **Estrategia operativa para la extracción de cantidades**

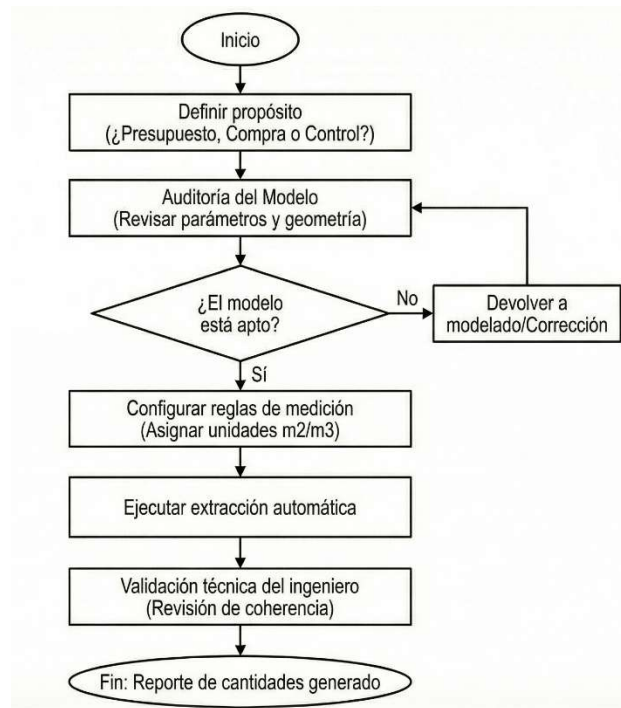
Para transitar de la teoría a la práctica, se define un procedimiento estandarizado que regula la extracción de cantidades (QTO) dentro de la propuesta de mejora. Esta estrategia busca mitigar el riesgo de "basura entra, basura sale" (GIGO) y asegurar que los datos obtenidos sean fiables para la toma de decisiones financieras en obra.

El flujo de trabajo estratégico se estructura en cuatro fases críticas:

1. **Definición del propósito de estimación:** Antes de abrir cualquier modelo, el ingeniero debe definir el alcance. No es lo mismo cuantificar para un pedido de concreto (que requiere volumen exacto y desperdicio) que para un presupuesto preliminar. La estrategia exige clasificar la extracción según su uso final.
2. **Validación y acondicionamiento del modelo:** Es el paso de control de calidad. Se establece que ningún modelo es apto para extracción hasta que se verifique que los elementos tienen los parámetros correctos (ej. que una columna tenga definido su material y nivel).
3. **Mapeo y extracción:** Consiste en la configuración de las reglas de medición, asignando las unidades de medida correctas a cada categoría (metros cúbicos para concreto, metros cuadrados para encofrado, unidades para puertas).
4. **Verificación humana:** La automatización no sustituye el criterio técnico. La estrategia incluye una etapa final obligatoria donde el ingeniero valida que los totales sean lógicos comparándolos con ratios históricos o mediciones manuales aleatorias.

Esta lógica operativa se encuentra sistematizada en la Figura 8, donde se presenta el diagrama de flujo que articula la secuencia de estas actividades. Dicha representación visual no solo ordena el procedimiento, sino que evidencia la interdependencia crítica entre la validación técnica del modelo y la fiabilidad final de los datos extraídos.

**Figura 8.** Flujo de trabajo estratégico para la extracción de cantidades (QTO).



### 3.2.3. Síntesis y propuesta de estrategias para Estructuras S.A.

La revisión del marco normativo y de las mejores prácticas en estimación y control de obra con BIM revela un camino claro hacia la modernización y la mejora de la competitividad. Para que esta transición sea efectiva para Estructuras S.A., es necesario traducir estos conceptos generales en un conjunto de estrategias concretas y priorizadas, adaptadas a la realidad y a los objetivos de la empresa.

Esta sección consolida la investigación anterior en una propuesta de usos BIM recomendados, un flujo de trabajo conceptual y una matriz de análisis que servirá como hoja de ruta para la implementación.

#### 3.2.3.1. Usos BIM recomendados para la estimación y control

Basándose en el análisis de los beneficios documentados y su impacto potencial, se recomienda que Estructuras S.A. enfoque sus esfuerzos de implementación en tres usos BIM específicos que responden directamente a los cuellos de botella diagnosticados:

1. **Mantenimiento y fortalecimiento de la coordinación 3D:** Aunque Estructuras S.A. ya aplica la coordinación 3D, se recomienda mantener y reforzar su ejecución como base fundamental. Este uso implica la integración continua de modelos federados para detectar interferencias antes de la construcción, asegurando la calidad de la información base.
2. **Estimación de cantidades (QTO):** Como respuesta directa al desperdicio de *sobre-procesamiento* y *defectos* en la cuantificación manual, se recomienda este uso para automatizar la extracción de volúmenes. Esto transforma un proceso propenso a errores humanos en un flujo de trabajo validado que libera tiempo del ingeniero.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

3. **Control del avance visual:** Para mitigar el desperdicio de *esperas* y la fricción administrativa, se recomienda emplear el modelo 3D como una "línea base interactiva". Esto crea una única fuente de verdad sobre el trabajo ejecutado, eliminando la asimetría de información con los subcontratistas.

A continuación, la Tabla 3 presenta la matriz de alineación estratégica. En ella se vinculan los hallazgos del diagnóstico (Objetivo 1) con la estrategia operativa y los lineamientos definidos para la propuesta de mejora (Objetivo 2).

**Tabla 3.** Matriz de diagnóstico y solución para Estructuras S.A.

| Proceso analizado (OE1)  | Ineficiencia / Cuello de botella (Diagnóstico)                                                                          | Clasificación de desperdicio (Lean)                                                                                                         | Estrategia y Lineamientos de Solución (Respuesta del OE2)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estimación de materiales | Cuantificación manual de acero y concreto desde planos 2D, con alta dependencia de cálculos repetitivos en papel/Excel. | Sobre-procesamiento: Horas de ingeniero en tareas repetitivas. Defectos: Alto riesgo de errores de cálculo y omisión.                       | Estrategia: Extracción de Cantidades (QTO) auditada. Se define un flujo de trabajo de 4 fases (Definición, Auditoría, Extracción, Verificación) para asegurar la calidad del dato. Lineamientos específicos: 1. Auditoría previa: Prohibición de extraer datos de modelos sin parámetros validados. 2. Enfoque híbrido: Uso de QTO automático para concreto y conteo de elementos, manteniendo la validación manual asistida para el acero de refuerzo (no modelado). |
| Control de avance        | Verificación manual y subjetiva del avance. Discrepancias entre lo que cobra el contratista y lo que mide el residente. | Esperas: Ciclos de aprobación lentos por falta de claridad. Sobre-procesamiento: Re-medición de trabajo ya ejecutado para validar facturas. | Estrategia: Planificación Visual por Metadatos. Implementación de filtros de visualización en la herramienta de campo basados en parámetros temporales (ej. "Semana de Ejecución"). Lineamientos específicos: 1. Línea Base Visual: El modelo en Dalux se convierte en la única fuente para validar pagos. 2. Transparencia: Uso de vistas compartidas donde el color de los elementos indica su estado de pago (Cobrado vs. Pendiente), eliminando la subjetividad.  |

| Proceso analizado (OE1)   | Ineficiencia / Cuello de botella (Diagnóstico)                                                                                          | Clasificación de desperdicio (Lean)                                                                   | Estrategia y Lineamientos de Solución (Respuesta del OE2)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gestión de la Información | Consulta difícil de planos en obra (PDFs pesados, versiones dudosas) y necesidad de "traducir" el diseño a instrucciones constructivas. | Movimiento: Desplazamientos innecesarios para consultar dudas. Defectos: Uso de información obsoleta. | Estrategia: Centralización bajo ISO 19650. Adopción de un Entorno Común de Datos (CDE) móvil como repositorio único. Lineamientos específicos: 1. Cero papel: Acceso directo al modelo y planos desde iPad en sitio. 2. Estados de información: Restricción automática para que el residente solo visualice archivos en estado "Publicado", garantizando que construye con la última versión aprobada. |

Esta matriz no solo diagnostica las debilidades en los procesos actuales de Estructuras S.A., sino que también las enmarca como claras oportunidades de mejora. Cada brecha identificada corresponde directamente a un beneficio tangible que la implementación de las estrategias BIM recomendadas puede aportar, proporcionando una justificación sólida y un punto de partida claro para el plan de implementación que se desarrollará en los siguientes objetivos de este trabajo.

### 3.3. Diseño de la propuesta de mejora

Una vez establecido el diagnóstico (OE1) y la propuesta técnica de usos BIM (OE2), este apartado detalla el cumplimiento del tercer objetivo específico: el diseño de la propuesta. Acorde con la metodología, este diseño se materializa en dos productos entregables fundamentales:

1. **El rediseño de los flujos de trabajo ("To-Be")** para la estimación de materiales y el control del avance de obra, los cuales se describen en detalle en las siguientes secciones.
2. **La documentación formal de dichos flujos**, a través de Procedimientos Operativos Estándar (SOP) para el personal técnico y Guías de Usuario para el ingeniero residente.

El proceso de diseño comenzó con un análisis y selección de las herramientas tecnológicas más adecuadas para el contexto de Estructuras S.A., cuyos resultados se presentan a continuación.

#### 3.3.1. Introducción a la fase de evaluación técnica

Una vez completada la fase de diagnóstico, correspondiente al primer objetivo específico de esta investigación, se ha obtenido una caracterización detallada de los procesos de estimación y control de obra en Estructuras S.A.

Dicho análisis ha mostrado la existencia de una brecha operativa significativa entre la madurez alcanzada en la fase de pre-construcción, donde se emplean modelos de información ricos en datos, y la persistencia de flujos de trabajo análogos y manuales durante la fase de ejecución. Esta desconexión representa el problema central a resolver, ya que impide aprovechar la inversión tecnológica realizada y continua las ineficiencias que la metodología BIM busca erradicar.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

Los hallazgos del diagnóstico revelan dos cuellos de botella críticos en las funciones del ingeniero residente: un proceso de cuantificación de materiales manual, propenso a errores y consumidor de tiempo; y un sistema de control de avance de obra subjetivo, basado en la inspección visual y la gestión de tablas de pago desconectadas, lo cual genera fricción administrativa y asimetría de la información con los subcontratistas.

En consecuencia, la transición hacia el segundo objetivo específico marca el paso de la descripción del problema a la formulación de una solución estructurada. Esta fase se inicia con la evaluación técnica de soluciones tecnológicas que puedan dar respuesta directa a las necesidades y limitaciones identificadas. El propósito de la presente sección es, establecer un marco de evaluación objetivo y transparente. Dicho marco se materializa en un conjunto de criterios de selección, los cuales han sido definidos a partir de un análisis minucioso de los resultados del diagnóstico.

Cada criterio representa un requisito funcional o estratégico indispensable que cualquier solución tecnológica debe cumplir para ser considerada viable y efectiva en el contexto operativo, tecnológico y cultural de Estructuras S.A. Este enfoque metodológico asegura que la selección final no se base en características genéricas, sino en la capacidad demostrada de la herramienta para resolver los problemas específicos y tangibles que afectan la productividad en la fase de ejecución.

### **3.3.2. Criterios de evaluación y metodología de selección numérica**

La selección de una herramienta tecnológica para la mejora de procesos no puede ser un acto arbitrario; debe responder a un análisis sistemático que garantice su alineación con las necesidades estratégicas y operativas de la organización. Para ello, se han definido cinco criterios fundamentales que actuarán como el marco de referencia para la evaluación y posterior selección. Cada uno de estos criterios se justifica directamente en las limitantes, capacidades y flujos de trabajo documentados durante la fase de diagnóstico.

#### **3.3.2.1. Capacidad para la cuantificación de materiales desde modelos y planos (Flujo de trabajo 2D/3D)**

El primer criterio, de carácter funcional, indica que la solución tecnológica seleccionada debe ser capaz de soportar un flujo de trabajo de cuantificación de materiales 2D/3D. Esto implica que la herramienta debe permitir la extracción automatizada de cantidades directamente de las propiedades geométricas de los objetos en un modelo 3D (*Model Take-Off*) y, de manera deseable ofrecer herramientas para la medición y cuantificación sobre planos 2D para aquellos elementos que no se encuentran modelados tridimensionalmente.

La justificación de este criterio es de vital importancia y se fundamenta en dos hallazgos clave del diagnóstico. En primer lugar, se constató que el proceso de estimación de materiales actual se basa en una práctica enteramente manual a partir de planos, una tarea que consume un tiempo significativo del ingeniero residente y presenta un alto riesgo de imprecisiones.

Estas imprecisiones, a su vez, pueden provocar en una subestimación de materiales —causando interrupciones en la ruta crítica del proyecto— o en una sobreestimación, que genera sobrecostos y desperdicio. En segundo lugar, el análisis de las capacidades BIM de la empresa reveló una limitación operativa: el acero de refuerzo no se modela en 3D. Esta decisión práctica para optimizar los tiempos de modelado afecta cualquier solución de cuantificación que dependa exclusivamente de información tridimensional.

Por lo tanto, una herramienta que ofrezca una funcionalidad híbrida 2D/3D sería una solución idónea para la realidad de Estructuras S.A. La evaluación bajo este criterio se centrará en verificar si la plataforma

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

permite, dentro de una misma interfaz, extraer cantidades de objetos 3D (ej., volúmenes de concreto de vigas y losas) con cantidades obtenidas de mediciones sobre planos 2D (ej., longitudes y diámetros de barras de acero), consolidando toda la información en un único inventario de materiales.

Esta capacidad es el requisito esencial para automatizar y dotar de precisión al proceso de estimación, capitalizando la información 3D existente sin ser penalizados por las omisiones de modelado.

### **3.3.2.2. Usabilidad y enfoque en la experiencia del usuario de campo (Ingeniero Residente)**

El segundo criterio es de naturaleza estratégica y se centra en el factor humano, un elemento determinante en el éxito de cualquier iniciativa de adopción tecnológica. La solución seleccionada debe presentar un alto grado de usabilidad, con una interfaz de usuario (UI) intuitiva y una experiencia de usuario (UX) de calidad.

Esto implica que la herramienta debe ser fácilmente accesible y funcional en dispositivos móviles (tabletas), minimizar la curva de aprendizaje para usuarios que no son especialistas en modelado BIM y, fundamentalmente, ser percibida como un facilitador que agiliza el trabajo y no como una carga administrativa adicional.

Este criterio responde directamente al perfil del usuario final identificado en el diagnóstico. Se determinó que los ingenieros residentes de Estructuras S.A. actúan como "consumidores de información" y validadores, pero no como modeladores expertos. Su dominio tecnológico se centra en el uso funcional de plataformas como Dalux en iPads para la consulta de planos y la navegación de modelos.

Este precedente indica una familiaridad y apertura hacia las herramientas móviles, pero también establece un estándar de simplicidad y enfoque en la tarea que cualquier nueva solución debe igualar o superar. El diagnóstico fue explícito al señalar que "cualquier nueva solución debe ser intuitiva, rápida, fiable y colaborativa para que no se sienta como una carga de trabajo adicional".

Esta necesidad es corroborada por expertos en la industria, quienes enfatizan que la tecnología debe ser "amigable y lo menos complicada posible" para fomentar su adopción. Asimismo, la experiencia en proyectos complejos demuestra que la resistencia al cambio es una barrera significativa, y una herramienta funcional no debe percibirse como una "carga adicional" para el ingeniero.

La evaluación bajo este criterio analizará, por tanto, la claridad de la interfaz, la fluidez del rendimiento en dispositivos móviles, la simplicidad de los flujos de trabajo para tareas clave y la calidad del soporte técnico y la documentación disponible. El objetivo es seleccionar una herramienta cuya concepción priorice la experiencia del usuario, maximizando así las probabilidades de una adopción exitosa y sostenible.

### **3.3.2.3. Provisión de un sistema objetivo y visual para el control del avance de obra**

El tercer criterio establece que la solución tecnológica debe poder ofrecer un sistema para el registro y control del avance de obra que sea objetivo, basado en datos y, preferiblemente, de naturaleza visual. El objetivo es reforzar el actual proceso, caracterizado por su subjetividad, por un mecanismo que genere un registro digital, transparente y auditable del trabajo ejecutado, vinculando el progreso directamente a los elementos del proyecto.

La justificación de este requisito se encuentra en las severas ineficiencias identificadas en el flujo de control de avance con subcontratistas. El diagnóstico reveló que el proceso actual parte de un pronunciado

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

"desbalance de información", donde es el subcontratista quien inicia el ciclo de cobro reportando su propio avance.

Esta dinámica posiciona al ingeniero residente en un rol reactivo de auditoría continua, una labor que consume una parte considerable de su tiempo y se convierte en un "cuello de botella administrativo". Este ciclo de reporte y verificación manual es un gran consumidor de tiempo y la imprecisión por el sistema a menudo conduce a verificar en varias ocasiones para aprobar los montos de pago.

Para abordar esta problemática, la solución tecnológica debe poder permitir la creación de una única fuente de la verdad para el avance de obra en caso de que el proyecto lo requiera. La evaluación de este criterio se enfocará en la capacidad de la herramienta para permitir al personal de campo actualizar el estado de los elementos constructivos de forma sencilla ("Encofrado", "Vaciado", "Completado").

Una funcionalidad clave a evaluar será la capacidad de representar el progreso mediante un sistema de codificación por colores. Un sistema de estas características transformaría las reuniones de validación de pagos, pasando de un debate subjetivo sobre porcentajes en una hoja de cálculo a una revisión objetiva de un modelo coloreado que ambas partes reconocen como el registro irrefutable del trabajo ejecutado, reduciendo así la asimetría y agilizando el ciclo de facturación.

### 3.3.2.4. Interoperabilidad con el ecosistema tecnológico actual de la empresa (Autodesk Revit)

El cuarto y último criterio es de carácter técnico-estratégico y demanda que la solución propuesta demuestre una interoperabilidad fluida y robusta con el ecosistema tecnológico ya consolidado en Estructuras S.A., específicamente con su principal software de autoría BIM, Autodesk Revit. Esto significa que debe existir un proceso fiable y eficiente para transferir la información de los modelos y planos desde Revit hacia la nueva plataforma, garantizando la integridad y consistencia de los datos.

Este criterio se justifica por la necesidad de evitar la creación de nuevos silos de información y de maximizar la inversión ya realizada. El diagnóstico confirmó que "Autodesk Revit es la principal herramienta utilizada para la creación de los modelos de información" en la empresa. El departamento de Construcción Virtual ha establecido flujos de trabajo maduros donde los modelos de Revit son la fuente primaria de datos para la coordinación de especialidades y la gestión documental en sus Entornos Comunes de Datos (CDE).

Cualquier solución que no pueda integrarse de manera nativa o semi-nativa con Revit obligaría a la empresa a incurrir en procesos de exportación e importación manuales, complejos y propensos a errores, o a duplicar la información, lo cual contradice los principios fundamentales de la gestión de la información bajo la metodología BIM y la norma ISO 19650.

La evaluación de este criterio se centrará en aspectos prácticos de la integración. Se analizará la existencia de *plugins* o conectores específicos para Revit que automaticen y simplifiquen la publicación de datos. Se examinarán los formatos de archivo soportados, priorizando aquellos que permitan una transferencia de datos más rica (formatos nativos.rvt sobre formatos abiertos como .ifc, si esto representa una ventaja funcional).

Finalmente, se valorará la capacidad del sistema para gestionar las versiones y actualizaciones del modelo, asegurando que el personal de campo trabaje siempre con la información más reciente y aprobada. El cumplimiento de este criterio es indispensable para garantizar que la nueva herramienta se inserte de manera orgánica en el flujo de trabajo existente, funcionando como una extensión del ecosistema tecnológico y no como una isla aislada.

### 3.3.2.5. Costo total

El quinto criterio es de naturaleza económica y se enfoca en el Costo Total de Propiedad (TCO, por sus siglas en inglés), un enfoque que trasciende el precio de adquisición inicial para abarcar todos los gastos asociados a la herramienta a lo largo de su ciclo de vida.

Este criterio se rige por un análisis que contemple no solo los costos directos y explícitos, como las licencias de software o las suscripciones anuales, sino también los costos indirectos. Estos incluyen los gastos de implementación, la personalización inicial, la capacitación del personal, el soporte técnico continuo, las actualizaciones y el mantenimiento. Asimismo, se deben considerar los costos de oportunidad y los posibles gastos asociados a una integración deficiente que requiera soluciones manuales o desarrollos adicionales.

### 3.3.2.6. Análisis multicriterio

La selección de una solución tecnológica, si bien se fundamenta en los hallazgos cualitativos del diagnóstico, requiere de un método estructurado que permita traducir las valoraciones subjetivas a un marco cuantitativo y objetivo. Esta transición es indispensable para garantizar una toma de decisiones defendible, transparente y alineada con las prioridades estratégicas de la organización. Para este fin, se empleará un método de Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA), un enfoque sistemático que permite evaluar un conjunto de alternativas en función de múltiples criterios ponderados.

El primer paso de esta metodología consiste en la ponderación de los criterios de selección previamente definidos. Para asignar un peso numérico a la importancia relativa de cada criterio, se utiliza una matriz de comparación por pares, técnica derivada del Proceso Analítico Jerárquico (AHP). De acuerdo con (Celemin, 2014), este método facilita la descomposición de un problema complejo en diferentes niveles jerárquicos y permite comparar de forma estructurada los criterios y alternativas. A partir de estas comparaciones, se establecen ponderaciones que reflejan los juicios de los expertos, lo cual contribuye a una evaluación más coherente y sustentada de las decisiones. En este proceso, cada criterio se compara uno a uno contra los demás, asignando un valor según una escala predefinida que refleja su grado de importancia relativa.

En la Tabla 4 se muestra la escala de valoración utilizada en el análisis multicriterio.

**Tabla 4.** Escala de valoración para comparación de criterios.

| Respuestas                          | Valor |
|-------------------------------------|-------|
| Igualmente, importante              | 1     |
| Más importante                      | 2     |
| Significativamente más importante   | 3     |
| Menos importante                    | 0,5   |
| Significativamente menos importante | 0,33  |

La aplicación de esta escala en la matriz de comparación da como resultado la ponderación porcentual final para cada criterio, la cual se muestra a continuación en la Tabla 5.

**Tabla 5.**Matriz de comparación por pares y ponderación de criterios.

| Criterio                   | Funcionalidad central | Usabilidad y adopción | Integración con ecosistema | Costo total | Sumatoria | Peso    |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-------------|-----------|---------|
| Funcionalidad central      |                       | 1                     | 2                          | 2           | 5         | 37%     |
| Usabilidad y adopción      | 1                     |                       | 1                          | 1           | 3         | 22%     |
| Integración con ecosistema | 0,5                   | 1                     |                            | 0,5         | 2         | 15%     |
| Costo total                | 0,5                   | 1                     | 2                          |             | 3,5       | 26%     |
|                            |                       |                       |                            |             | 13,5      | 100,00% |

Los criterios y su peso resultante son:

- **Funcionalidad central (Peso: 37%):** Capacidad de la herramienta para resolver de manera completa el problema identificado.
- **Usabilidad y adopción (Peso: 22%):** Facilidad de aprendizaje y uso de la herramienta para el ingeniero residente en el entorno de campo.
- **Integración con ecosistema (Peso: 15%):** Interoperabilidad con la infraestructura tecnológica existente de Estructuras S.A.
- **Costo total (Peso: 26%):** Consideración de una estimación de todos los costos asociados, incluyendo licencias, implementación y mantenimiento.

Finalmente, el análisis detallado de los resultados obtenidos mediante este método se desarrollará en un apartado posterior, donde se interpretarán las ponderaciones y se evaluará comparativamente el desempeño de cada alternativa tecnológica. Esta fase permitirá fundamentar la selección final de la herramienta con base en criterios técnicos y estratégicos alineados con los objetivos del proyecto.

### 3.3.3. Análisis preliminar y descarte de herramientas alternativas

Antes del análisis y selección final de las herramientas para la propuesta de integración, se realizó un breve análisis de diversas alternativas tecnológicas disponibles en el mercado, con el propósito de determinar su grado de alineación con las necesidades operativas identificadas en el diagnóstico.

Este análisis permitió evaluar cada solución en función de los criterios definidos en la sección 3.3.2 —cuantificación 2D/3D, usabilidad en campo, control de avance objetivo e interoperabilidad con el ecosistema de Autodesk, Costo total—. A partir de esta evaluación se descartaron aquellas herramientas que, aunque potentes en sus ámbitos específicos, no cumplieran con los requerimientos funcionales ni con las condiciones de implementación de Estructuras S.A.

### 3.3.3.1. Herramientas de coordinación y simulación BIM (Autodesk Navisworks Manage)

Autodesk Navisworks Manage es reconocida en la industria de la construcción como una de las herramientas más potentes para la coordinación de modelos BIM. Sus capacidades para la agregación de modelos de múltiples formatos, la detección avanzada de interferencias (*clash detection*).

A pesar de su robustez, no podría resolver los cuellos de botella del ingeniero residente en la fase de ejecución. La principal razón de su exclusión radica en que Navisworks es una herramienta de análisis y validación en la pre-construcción, no una plataforma de gestión para la ejecución en campo. Esta distinción es crucial, pues el problema diagnosticado en Estructuras S.A. no reside en la coordinación de diseños —un área donde la empresa ya demuestra madurez—, sino en la brecha operativa que existe entre la oficina técnica y la obra.

El incumplimiento de los criterios fue claro:

- **Usabilidad en campo:** Navisworks es un software de escritorio complejo, diseñado para ser operado por un especialista o coordinador BIM en un entorno de oficina. Su interfaz no está optimizada para el uso en dispositivos móviles como tabletas, ni para las interacciones rápidas y orientadas a tareas que requiere un ingeniero residente en el ambiente dinámico y, a menudo, sin conexión de una obra.
- **Control de avance objetivo:** La funcionalidad de Navisworks se centra en la simulación de lo que va a ocurrir, no en el registro de lo que ya ha ocurrido. No permite que un usuario en campo actualice el estado de un elemento constructivo en tiempo real (ej. marcar una columna como "construida") para generar un registro dinámico del avance. Su propósito es analizar un plan, no documentar su ejecución.

Por lo tanto, seleccionar Navisworks para resolver los problemas del ingeniero residente constituiría un error, se estaría aplicando una solución potente, pero inadecuada al problema específico. La necesidad de Estructuras S.A. es una herramienta transaccional y de gestión en campo, no una de análisis en la oficina.

#### Herramientas especializadas en cuantificación 2D (Bluebeam Revu)

*Bluebeam Revu* se ha consolidado como la herramienta líder en el mercado para la gestión, marcado y cuantificación sobre documentos en formato PDF. Sus potentes conjuntos de herramientas para la medición de longitudes, áreas y conteos, junto con sus capacidades de colaboración, la hacen una solución altamente efectiva para los flujos de trabajo basados en planos 2D.

A primera vista, esta herramienta parecía una candidata ideal para abordar una de las limitaciones críticas identificadas en el diagnóstico: la necesidad de cuantificar el acero de refuerzo, el cual no se modela en 3D y debe extraerse de planos 2D.

Sin embargo, su adopción resolvería un problema a costa de perpetuar un problema estratégico mayor: la fragmentación de la información. La exclusión de *Bluebeam Revu* se justifica por el incumplimiento de criterios clave que buscan una solución integrada:

- **Flujo de trabajo 2D/3D integrado:** *Bluebeam* es una plataforma eminentemente centrada en el 2D. Aunque posee algunas capacidades para visualizar un PDF en 3D, no ofrece un entorno de trabajo unificado donde el ingeniero residente pueda, de manera fluida, extraer cantidades de un modelo

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

nativo de Revit (3D) y, simultáneamente, medir sobre un plano 2D, consolidando ambos conjuntos de datos en un único paquete de cuantificación.

- **Control de avance objetivo:** *Bluebeam* es una herramienta orientada a documentos, no una plataforma de gestión de proyectos. Carece de funcionalidades nativas para registrar el estado de avance de los elementos constructivos o para vincular el progreso a un modelo centralizado.

La decisión de descartar *Bluebeam* es por elección estratégica, se quiere priorizar una plataforma integrada sobre una colección de soluciones "punto" especializadas. Aunque *Bluebeam* puede ser superior para la tarea específica de cuantificación 2D, el objetivo general de este proyecto es crear un flujo de información continuo y sin fisuras.

### **Plataformas de gestión de proyectos de construcción (Procore, Trimble Connect)**

Plataformas como Procore y Trimble Connect representan soluciones integrales de gestión de la construcción, abarcando un amplio espectro de funcionalidades que incluyen la gestión financiera, la administración de documentos, los flujos de trabajo de RFI (Solicitud de Información) y *submittals*, y la planificación de recursos. Su propuesta de valor reside en centralizar todas las facetas de la gestión de un proyecto en un único ecosistema.

A pesar de sus amplias capacidades, su evaluación para las necesidades específicas de Estructuras S.A. motivó su descarte en esta fase preliminar. La justificación se basa en una evaluación más matizada de sus funcionalidades BIM y su alineación con el contexto tecnológico de la empresa:

- **Capacidad de cuantificación y control de avance:** Si bien estas plataformas han incorporado módulos BIM, su arquitectura fundamental a menudo está centrada en los documentos y las finanzas, no en el modelo de información. Sus herramientas para la cuantificación híbrida 2D/3D y el control de avance visual y granular directamente sobre el modelo pueden no ser tan nativas, robustas o intuitivas como las ofrecidas por plataformas que han evolucionado orgánicamente desde una base BIM, como es el caso del ecosistema Autodesk.
- **Interoperabilidad con Revit:** La interoperabilidad es un factor crítico. Estructuras S.A. ha realizado una inversión significativa en el ecosistema de Autodesk, utilizando Revit como su principal herramienta de autoría y Autodesk Docs. La introducción de una plataforma de un tercero, como Procore, crearía desafíos de integración, requeriría el mantenimiento de conectores, implicaría una capacitación adicional en una interfaz completamente nueva y aumentaría el riesgo de pérdida de fidelidad de los datos durante las transferencias.

Por tanto, la decisión de no seguir adelante con estas plataformas no se basa en una inferioridad general, sino en una decisión de negocio, se quiere maximizar el valor y la sinergia del ecosistema tecnológico existente es una estrategia más eficiente y de menor riesgo que introducir una alternativa disruptiva.

La Tabla 6 resume de manera esquemática el proceso de evaluación y las justificaciones para el descarte de cada herramienta.

**Tabla 6.** Matriz de justificación para el descarte de herramientas alternativa.

| Herramienta analizada      | Función principal                                                                         | Criterios clave de incumplimiento                                | Justificación para la exclusión                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Autodesk Navisworks Manage | Coordinación 3D, detección de interferencias y simulación 4D/5D.                          | Usabilidad en campo y control de avance objetivo.                | Herramienta de escritorio para análisis en pre-construcción. No está diseñada para la gestión de tareas ni la entrada de datos en tiempo real desde dispositivos móviles en obra.                                                          |
| Bluebeam Revu              | Cuantificación, colaboración y marcado sobre documentos 2D (PDF).                         | Flujo de trabajo 2D/3D integrado y control de avance objetivo.   | Solución "punto" excelente para 2D, pero carece de una integración nativa y fluida con el modelo 3D para un flujo de trabajo de cuantificación unificado. No posee funcionalidades de control de avance.                                   |
| Procore / Trimble Connect  | Plataforma de gestión integral de proyectos de construcción (finanzas, documentos, etc.). | Capacidad de cuantificación 2D/3D e Interoperabilidad con Revit. | Aunque poseen módulos BIM, sus funcionalidades para la cuantificación híbrida y el control visual de avance no son tan nativas o robustas como las de los finalistas. La integración con el ecosistema Autodesk existente es menos fluida. |

En síntesis, el análisis preliminar permitió depurar las herramientas tecnológicas evaluadas, identificando aquellas que, si bien destacan por su potencia funcional, no responden a las necesidades reales del ingeniero residente ni a las condiciones operativas actuales de Estructuras S.A. El descarte de soluciones centradas en la coordinación, la cuantificación 2D o la gestión documental integral evidencia que el problema de la empresa no se origina en la etapa de diseño, sino en la desconexión entre la planificación digital y la ejecución física.

Este proceso de filtrado estableció una base clara para dirigir la atención hacia un conjunto de soluciones más pertinentes: las plataformas de gestión en campo, las cuales representan la evolución natural dentro del ecosistema BIM al permitir trasladar la información del modelo directamente al sitio de construcción, donde realmente se generan y validan los datos que sostienen el control del proyecto.

### 3.3.4. Plataformas de gestión en campo

Las plataformas de gestión en campo representan una de las evoluciones más significativas dentro del ecosistema BIM, al trasladar la información digital del entorno de oficina al sitio de construcción.

Estas herramientas buscan cerrar la brecha entre la planificación y la ejecución, permitiendo que los ingenieros residentes, supervisores y contratistas trabajen directamente sobre datos actualizados del modelo, sin depender de procesos manuales o reportes desfasados. Su propósito principal no es únicamente visualizar la información, sino gestionarla activamente: registrar el progreso, cuantificar materiales, controlar la calidad y documentar evidencias desde dispositivos móviles en tiempo real.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

En el contexto de Estructuras S.A., donde el control de avance y la estimación de materiales se realizan de manera tradicional, la adopción de plataformas de gestión en campo constituye un paso esencial hacia la modernización operativa y la trazabilidad digital del proceso constructivo.

### 3.3.4.1. Ecosistema Autodesk Construction Cloud (ACC)

Autodesk Construction Cloud (ACC) se presenta como una plataforma de software unificada y basada en la nube, diseñada para conectar flujos de trabajo, equipos y datos a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción. Su arquitectura no debe entenderse como un conjunto de programas aislados, sino como una solución integral construida sobre el principio fundamental de un Entorno Común de Datos o CDE (Common Data Environment), un pilar de la norma internacional ISO 19650.

Este enfoque busca centralizar toda la información del proyecto para que actúe como una "única fuente de la verdad" (*single source of truth*), garantizando que todos los involucrados, desde la oficina técnica hasta el personal en campo, trabajen consistentemente con la versión más actualizada de los datos.

La base de este ecosistema es el módulo Autodesk Docs, que funciona como el repositorio centralizado para toda la documentación, incluyendo planos, especificaciones, informes y, de manera crítica, los modelos de información. Al operar bajo la filosofía de un CDE, esta estructura aborda directamente el problema de la fragmentación de la información y los silos de datos que persisten en los flujos de trabajo de Estructuras S.A., estableciendo el fundamento tecnológico para la colaboración y la consistencia de los datos desde el diseño hasta la ejecución.

Sobre esta base operan módulos especializados como Takeoff para la cuantificación y Build para la gestión en obra, los cuales ofrecen funcionalidades avanzadas, pero no se incluyen dentro de la licencia estándar de Autodesk Docs. Ambos requieren suscripciones adicionales, lo que implica un costo extra que actualmente Estructuras S.A. no asume.

Por el contrario, la funcionalidad "Extended Properties" (Propiedades Extendidas) sí forma parte del entorno de Model Coordination, módulo que viene incluido con Autodesk Docs sin costo adicional, por lo que representa una opción viable y estratégica para ampliar las capacidades de gestión de datos dentro del entorno existente, sin necesidad de adquirir módulos complementarios de paga.

#### **Análisis de Autodesk Takeoff para la estimación de materiales**

El módulo Autodesk Takeoff es la solución especializada de la plataforma para la cuantificación de materiales y la estimación de costos, posicionándose como una respuesta tecnológica directa al proceso manual, repetitivo y propenso a errores de la "cubicación/cuantificación" que actualmente realiza el ingeniero residente en Estructuras S.A. Este módulo propone un cambio de paradigma al reemplazar la interpretación de planos 2D con escalímetros y hojas de cálculo por un flujo de trabajo de Extracción de Cantidades Automatizada o QTO (Quantity Take-Off).

El proceso consiste en consultar directamente la base de datos del modelo BIM, donde las cantidades de materiales, como el volumen de concreto de una losa o el área de un muro, se extraen de las propiedades geométricas de los objetos 3D. Este método garantiza un nivel de precisión inalcanzable con los métodos manuales y, según la literatura académica, puede reducir el tiempo dedicado a esta tarea hasta en un 80%, liberando al profesional para que se enfoque en actividades de mayor valor añadido.

La capacidad de la plataforma para centralizar los documentos de diseño y construcción en un único lugar asegura que los estimadores trabajen siempre con la información más reciente, mejorando la colaboración y reduciendo el riesgo de errores por versiones desactualizadas.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

Sin embargo, es importante señalar una limitante técnica del módulo. Aunque Autodesk Takeoff permite trabajar directamente con archivos RVT e IFC, la plataforma no utiliza el modelo con todos sus parámetros nativos. Durante el proceso de conversión interna que realiza para visualizar y cuantificar los elementos, Takeoff prioriza las propiedades geométricas y omite parte de la información original del modelo, especialmente parámetros personalizados, datos de materiales, claves de partidas o propiedades específicas definidas por el usuario.

Esta simplificación implica que la cuantificación se base casi exclusivamente en la geometría, ya que muchos atributos no geométricos pueden no estar disponibles dentro de la plataforma. Como resultado, la precisión del análisis se ve limitada cuando la empresa depende de estos datos para generar presupuestos detallados o clasificaciones internas, representando un reto para su implementación plena dentro del flujo de estimación y control de obra.

### **Flujo de trabajo híbrido 2D/3D**

Una de las capacidades más destacadas de Autodesk Takeoff, y que lo alinea de manera precisa con las necesidades de Estructuras S.A., es su flujo de trabajo híbrido que permite agregar cantidades extraídas tanto de modelos 3D como de planos 2D dentro de un único inventario consolidado.

Esta funcionalidad no es solo una característica conveniente, sino un requisito indispensable para la empresa, dado que el diagnóstico operativo confirmó la práctica de no modelar el acero de refuerzo en 3D para optimizar los tiempos de la fase de pre-construcción. Esta limitación haría que cualquier herramienta de cuantificación puramente basada en modelos 3D fuera una solución incompleta e ineficaz.

El flujo de trabajo híbrido permite capitalizar la información ya existente en los modelos tridimensionales sin ser penalizados por las omisiones de modelado, facilitando una adopción tecnológica gradual y sin fricciones. El proceso para el ingeniero residente sería el siguiente:

1. El ingeniero abre el proyecto en la interfaz de Autodesk Takeoff, que le da acceso tanto a los modelos 3D como a los planos 2D del proyecto alojados en Autodesk Docs.
2. Utilizando el visor 3D, selecciona los elementos de concreto (losas, vigas, columnas) cuyo acero necesita cuantificar. La plataforma extrae automáticamente sus volúmenes del modelo Revit, basándose en las propiedades geométricas de los objetos.
3. A continuación, dentro de la misma interfaz, cambia a la vista del plano estructural 2D correspondiente.
4. Utilizando las herramientas de medición 2D (lineal, área y conteo), cuantifica las longitudes y diámetros de las barras de refuerzo directamente sobre el plano.
5. Ambas cantidades, el volumen de concreto (extraído del 3D) y la cuantificación del acero (obtenida del 2D), se consolidan en un único listado de materiales para ese conjunto de elementos.

Esta capacidad de unificar datos 2D y 3D en un solo inventario es lo que hace de Take off una solución viable y potente para la empresa, como lo confirmó el especialista técnico Juan Castillo, quien lo describió como el "módulo por excelencia para revisión y cuantificaciones" (ver apéndice L).

Es importante recalcar que, si bien la aplicación móvil de Autodesk Construction Cloud permite visualizar los planos y modelos para una revisión en sitio, la estimación de materiales y el proceso detallado de cuantificación deben realizarse desde una computadora de escritorio o laptop. Las herramientas de medición y extracción de datos de Take off, diseñadas para un flujo de trabajo preciso y minucioso, no están disponibles en la interfaz móvil. La aplicación para dispositivos móviles está optimizada para la colaboración, la visualización de documentos y la gestión en el campo, no para la ejecución de las mediciones iniciales que generan los informes de planificación.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

## **Análisis de Autodesk Build para el control de avance de obra**

Para digitalizar el control del avance de obra, el módulo Autodesk Build introduce el concepto de "Activos" (*Assets*). Un activo es cualquier componente físico o lógico de un proyecto que necesita ser rastreado a lo largo de su ciclo de vida, desde materiales y componentes de construcción hasta equipos. El flujo de trabajo comienza al convertir los objetos del modelo de diseño (por ejemplo, un muro modelado en Revit) en activos rastreables dentro de la plataforma ACC.

Este proceso crea un vínculo digital directo entre la representación del diseño y el componente físico que será instalado en la obra, estableciendo la base para un seguimiento detallado y contextualizado.

El módulo de Activos está diseñado para ser utilizado directamente en campo a través de la aplicación móvil de Autodesk Construction Cloud, empoderando al ingeniero residente con una herramienta intuitiva en su tableta o teléfono. El flujo de trabajo para registrar el avance es el siguiente:

1. Navegación contextual: El ingeniero abre la aplicación en su dispositivo móvil y navega hasta el área de trabajo, ya sea visualizando un plano 2D o el modelo 3D del proyecto.
2. Selección del activo: Toca directamente sobre el componente cuyo estado desea actualizar (por ejemplo, una columna de concreto).
3. Actualización de estado: Se despliega una lista de estados predefinidos y personalizables. El ingeniero selecciona el nuevo estado que refleja el trabajo completado (por ejemplo, cambia el estado de "Acero colocado" a "Vaciado").
4. Vinculación de evidencia: Opcionalmente, puede adjuntar información de respaldo directamente al activo, como una fotografía georreferenciada del vaciado, una lista de verificación (*checklist*) de calidad completada, o reportar una incidencia (*issue*) asociada.

Este proceso, que toma solo unos segundos, reemplaza por completo el sistema actual de inspecciones visuales subjetivas y la posterior transcripción de datos a las "tablas de pago" en Excel, eliminando la duplicidad de trabajo y la latencia en la información. La verdadera transformación ocurre en la forma en que esta información se comparte y visualiza.

Cada vez que un ingeniero actualiza el estado de un activo en campo, el cambio se refleja instantáneamente para todos los miembros del proyecto con acceso. La plataforma utiliza un sistema de codificación por colores en los planos 2D y modelos 3D para representar visualmente el estado de cada componente.

Este sistema de seguimiento visual, objetivo y en tiempo real resuelve de raíz el problema de la "asimetría de la información" que caracteriza el proceso de control de avance con subcontratistas en Estructuras S.A. En el flujo de trabajo actual, el subcontratista reporta su avance y el ingeniero residente debe realizar una labor de auditoría, dejando una brecha para la fricción y desconfianza. Con el módulo de Activos, el modelo BIM se convierte en el registro compartido e irrefutable del trabajo ejecutado.

Cuando un subcontratista presenta una solicitud de pago, la reunión de validación deja de ser un debate subjetivo sobre porcentajes en una hoja de cálculo y se convierte en una revisión objetiva de un modelo coloreado que ambas partes reconocen como la "única fuente de la verdad". Esta transparencia reduce drásticamente las disputas contractuales y agiliza el proceso de aprobación de pagos.

### **"Extended Properties" como solución estratégica para la introducción de datos**

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

Para una organización como Estructuras S.A., que ya cuenta con Autodesk Docs y busca maximizar su inversión sin incurrir en los costos de módulos adicionales como Build, la funcionalidad "Extended Properties" (Propiedades Extendidas) se presenta como una solución estratégica para la introducción de datos en campo.

Su principal ventaja técnica es que permite a los equipos de proyecto agregar campos de datos personalizados (como texto, números o fechas) a los objetos del modelo directamente en la plataforma ACC, pero sin modificar el archivo de diseño original (el archivo RVT de Revit).

Esto es crucial, ya que significa que el equipo de construcción puede enriquecer el modelo con información operativa sin necesidad de tener licencias de software de autoría (Revit) o arriesgarse a corromper los modelos de diseño.

Se mantiene la integridad del modelo original mientras se aumenta exponencialmente su valor informativo durante la construcción, empoderando a usuarios no modeladores, como el ingeniero residente, para que contribuyan con datos valiosos directamente desde el visualizador en la nube.

Aunque durante la consulta al especialista técnico Juan Castillo existía incertidumbre sobre esta capacidad, la documentación más reciente de Autodesk confirma su desarrollo y propósito. Las Propiedades Extendidas abren un abanico de posibilidades para digitalizar procesos que tradicionalmente se gestionan en documentos separados. Por ejemplo, el ingeniero residente podría seleccionar una columna en el visor de su tableta y registrar directamente en el modelo datos como el ID, Lote de concreto, la fecha de prueba de cilindro o el código de costo.

Es importante distinguir el propósito de esta funcionalidad frente al del módulo de "Activos" de Build. Mientras que los "Activos" están diseñados para rastrear un proceso dinámico, es decir, el cambio de *estado* de un elemento a lo largo del tiempo (respondiendo a la pregunta "¿en qué etapa del proceso se encuentra este elemento?"), las "Propiedades Extendidas" se enfocan en registrar atributos o metadatos estáticos o semi-estáticos (respondiendo a la pregunta "¿cuáles son los detalles técnicos y auditables de esa etapa?").

Esta distinción posiciona a las Propiedades Extendidas como una herramienta de enriquecimiento de datos más flexible y granular, que no depende del flujo de trabajo de "Activos" de Build, convirtiéndola en una alternativa de alto valor para introducir información al modelo sin la inversión que requiere el módulo Build.

Así bien Propiedades Extendidas puede emplearse para la colocación de información de campo dentro de los elementos, si bien se centra en introducir información técnica, se podría emplear para indicar que un elemento me encuentra completado, en ejecución o pendiente de construcción, permitiendo generar un control visual básico del avance directamente sobre el modelo sin recurrir a herramientas adicionales. Aunque no sustituye un sistema de gestión de progreso como el que ofrece Build, sí habilita una trazabilidad elemental que puede integrarse con flujos de control y seguimiento desarrollados internamente por la empresa.

En este sentido, "Extended Properties" se convierte en un punto intermedio entre la visualización pasiva y la gestión activa del modelo: un medio para capturar, organizar y centralizar información técnica y de obra en un solo entorno digital, reduciendo la fragmentación de datos y facilitando la comunicación entre oficina técnica y campo. Esto refuerza la propuesta de Estructuras S.A. de avanzar hacia un ecosistema BIM operativo y accesible, donde cada integrante del equipo pueda aportar información útil sin requerir conocimientos avanzados de modelado.

Si bien las *Extended Properties* no permiten aplicar colores directamente a los elementos del modelo, los valores registrados pueden utilizarse como criterios de filtrado o agrupación dentro del entorno de *Model Coordination*. Esto posibilita resaltar o aislar visualmente conjuntos de elementos según su estado o atributo definido, ofreciendo una lectura visual clara del modelo sin requerir herramientas adicionales de codificación por color como las que incorpora el módulo Build.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

En la Tabla 7 se muestra el resumen de los módulos aplicables de Autodesk Construction Cloud y sus beneficios estratégicos para Estructuras S.A.

**Tabla 7.** Integración de módulos de Autodesk Construction Cloud y sus beneficios en Estructuras S.A.

| Problema en Estructuras S.A.                                                                                     | Módulo/Funcionalidad ACC Aplicable | Capacidades Clave                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Beneficio estratégico para el ingeniero residente                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cuantificación manual ("cubicación") lenta y propensa a errores.                                                 | Autodesk Takeoff                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Extracción automatizada de cantidades desde modelos 3D.</li> <li>- Herramientas de medición y cuantificación en planos 2D.</li> <li>- Inventario unificado que agrega datos 2D y 3D.</li> </ul>                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción drástica del tiempo de estimación.</li> <li>- Aumento de la precisión en la solicitud de materiales.</li> <li>- Mitigación de riesgos por sobre/sub-compra.</li> </ul>                                                  |
| Control de avance subjetivo basado en hojas de cálculo; asimetría de información y disputas con subcontratistas. | Autodesk Build (Assets)            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conversión de objetos de modelo en "Activos" rastreables.</li> <li>- Actualización de estado en campo mediante app móvil.</li> <li>- Visualización del progreso con códigos de color en 2D/3D.</li> <li>- Conjuntos de estados personalizables.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Creación de una "única fuente de la verdad" para el avance.</li> <li>- Eliminación de la subjetividad y reducción de disputas de pago.</li> <li>- Visibilidad del progreso en tiempo real para todos los involucrados.</li> </ul> |
| Control de avance subjetivo basado en hojas de cálculo; asimetría de información y disputas con subcontratistas. | Extended Properties (Beta)         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adición de campos de datos personalizados a objetos del modelo.</li> <li>- Enriquecimiento de datos en la nube sin modificar el archivo de diseño.</li> <li>- Capacidad de filtrar, agrupar y colorear el modelo por propiedades personalizadas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Creación de un registro de construcción (as-built) digital y detallado.</li> <li>- Mejora de la trazabilidad para control de calidad y auditorías.</li> </ul>                                                                     |

### 3.3.4.2. Plataforma de gestión en obra Dalux (Field y Box)

Dalux es una plataforma de software danesa diseñada para la industria de la construcción, con una filosofía centrada en ofrecer herramientas que no solo son tecnológicamente avanzadas, sino también intuitivas y accesibles para el usuario final en la obra. Su arquitectura se presenta como un ecosistema de módulos interconectados que cubren todo el ciclo de vida del activo, con un fuerte énfasis en llevar la información BIM directamente al sitio de construcción a través de dispositivos móviles.

El ecosistema se estructura en torno a dos módulos clave que responden directamente a las ineficiencias documentadas en Estructuras S.A.:

- **Dalux Box:** Actúa como un Entorno Común de Datos (CDE) que cumple con la norma ISO 19650, estableciendo una única fuente de verdad para toda la información del proyecto. Garantiza que el personal de obra siempre trabaje con los planos y modelos más recientes y aprobados, sentando las bases para una operación digital fiable.
- **Dalux Field:** Proporciona un conjunto de herramientas digitales para la gestión en sitio, diseñadas para reemplazar los procesos manuales. Sus funcionalidades para la extracción de cantidades (*Quantities*) y la gestión de tareas (*Task Management*) atacan directamente los cuellos de botella de la estimación de materiales y el control del avance, respectivamente.

Todo el sistema está impulsado por el motor de visualización Dalux BIM Viewer, reconocido en la industria por su capacidad para manejar con fluidez modelos BIM de gran tamaño y complejidad, incluso en dispositivos móviles como tabletas y teléfonos inteligentes. Esta capacidad de alto rendimiento es crítica para garantizar una experiencia de usuario positiva en el entorno de la obra, un factor clave para la adopción por parte del personal de campo.

#### Análisis de Dalux 'Quantities' para la estimación de materiales

La funcionalidad *Quantities* dentro de Dalux Field implementa el concepto de *Model Take-Off*, permitiendo la extracción de cantidades directamente de la base de datos del modelo 3D. Este enfoque digital busca automatizar la parte más tediosa y propensa a errores del proceso de "cubicación": la identificación y medición de elementos.

El flujo de trabajo para un ingeniero residente en Estructuras S.A. sería el siguiente:

1. Acceso y visualización: Desde una tableta o un ordenador, el ingeniero accede al módulo *Field > Quantities*. La interfaz muestra el modelo 3D federado en la parte superior y una tabla de datos en la parte inferior.
2. Filtrado de elementos: Utilizando un potente sistema de filtros, el ingeniero puede aislar los elementos de interés basándose en cualquier propiedad BIM contenida en el modelo (categoría, tipo, material, fase, etc.). Por ejemplo, podría crear un filtro para mostrar únicamente los "Muros de concreto" del "Nivel 2".

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

3. Personalización de datos: La tabla de datos es personalizable. El ingeniero puede añadir o quitar columnas para mostrar las propiedades que necesita, como volumen, área, longitud o cualquier otro parámetro relevante del modelo.
4. Exportación de datos: Una vez que la tabla muestra la lista filtrada de elementos y sus cantidades correspondientes, la información se puede exportar a una hoja de cálculo de Excel con un solo clic.

Este flujo de trabajo representa una mejora sustancial sobre el proceso manual. Sin embargo, un análisis técnico detallado debe señalar una limitación en el flujo de trabajo actual de la herramienta: Dalux *Quantities* no ofrece una función de suma en tiempo real en pantalla para múltiples elementos seleccionados en el visor 3D.

La suma final de las cantidades (por ejemplo, el volumen total de concreto para todos los muros seleccionados) debe realizarse en la hoja de cálculo de Excel exportada. Esto significa que, si bien la funcionalidad elimina la mayor parte del trabajo manual y el riesgo de la "cubicación", el proceso no está completamente contenido dentro de la plataforma y requiere un paso final externo.

Además, la selección de los elementos se realiza por un filtrado de diferentes propiedades de los elementos, por lo cual es indispensable que el modelo sea de calidad y que las propiedades de los objetos estén correctamente definidas y estandarizadas desde la etapa de modelado. Un modelo con datos incompletos, inconsistentes o mal clasificados limitará el potencial de la herramienta, generando resultados parciales o imprecisos en la estimación de materiales.

Por ello, el aprovechamiento efectivo de Dalux *Quantities* depende directamente de la calidad del modelo BIM y de la coherencia de los parámetros compartidos entre disciplinas. Cuando se cumplen estas condiciones, la herramienta se convierte en un apoyo poderoso para la gestión en obra, permitiendo obtener información precisa y actualizada sobre las cantidades ejecutadas o por ejecutar, reduciendo tiempos y minimizando errores en la estimación.

### **Análisis de Dalux Field para el control de avance de obra**

Dalux Field aborda el control de avance mediante un enfoque dual que separa el registro contractual auditable de la validación visual de la realidad construida. Esta aproximación ofrece una solución robusta y multifacética al problema de la subjetividad y la asimetría de la información.

### **Gestión de tareas (Task Management) como registro auditable**

El control de avance tradicional, basado en la actualización de "tablas de pago", es reemplazado por un sistema de gestión de tareas digital y centralizado. Este sistema permite al ingeniero residente crear una "tarea" (que puede representar un defecto, una consulta o un hito de progreso) directamente en su dispositivo móvil.

Cada tarea puede ser geolocalizada con precisión en un plano 2D o vincularse a un objeto específico en el modelo 3D, asignándole un responsable, una fecha límite y adjuntando evidencia como fotos, comentarios y listas de verificación. El progreso de la tarea se sigue a través de un ciclo de vida con estados claramente definidos y auditables ("Nuevo", "En curso", "Reportado como listo", "Aprobado y cerrado").

Este sistema crea un registro digital trazable de todo el trabajo ejecutado, eliminando la ambigüedad y proporcionando una base objetiva para la aprobación de pagos. No obstante, es importante señalar que la finalización de una tarea no modifica automáticamente la representación visual del elemento correspondiente en el modelo 3D (por ejemplo, cambiando su color), ya que el seguimiento se realiza a través de listas y paneles de control, no mediante una coloración dinámica del modelo.

### **Validación visual con 'SiteWalk' y 'BIM Compare'**

Para la validación visual del progreso, Dalux ofrece una solución innovadora: la funcionalidad de captura de la realidad *SiteWalk*. Este sistema permite a un usuario caminar por la obra con una cámara de 360° montada en el casco. El video capturado se carga en la plataforma, donde se procesa y se mapea automáticamente a la ubicación correspondiente en los planos del proyecto, creando un "*Street View*" del sitio de construcción en diferentes momentos.

La verdadera capacidad de esta herramienta reside en la función BIM Compare, que permite superponer el modelo 3D sobre las fotos de 360°, comparando lo "diseñado" con lo "construido". Esta herramienta ofrece un método de validación visual del progreso extremadamente eficaz y objetivo.

El ingeniero residente puede verificar si las instalaciones se están colocando según el modelo coordinado, detectar posibles conflictos antes de que ocurran y documentar el estado real de la obra de manera irrefutable. Este enfoque híbrido, que combina la gestión de tareas para el control contractual y *SiteWalk* para la verificación visual, proporciona una solución integral y potente para el control de avance en obra.

### **Análisis de los Archivos de Datos BIM para la gestión integrada de información en obra**

Los Archivos de Datos BIM (*BIM Data Files*) de Dalux, disponibles en la licencia Dalux Box Pro, representan una herramienta avanzada para la introducción y gestión de datos operativos directamente sobre el modelo, sin requerir el uso de software de autoría externo. Su propósito es similar al de las *Propiedades Extendidas* de Autodesk, permitiendo enriquecer el modelo con propiedades y valores personalizados que complementan la información generada en la fase de diseño.

Esta funcionalidad tiene como objetivo empoderar a los equipos de obra para mantener actualizado el modelo con información real del progreso constructivo. Un administrador de proyecto crea el *Archivo de Datos BIM* y define las propiedades personalizadas que se utilizarán, las cuales pueden ser de tipo texto, numérico o listas predefinidas de valores. Por ejemplo, en el control de avance puede crearse una propiedad denominada "estado de construcción", con opciones como "Pendiente" y "Construido". Posteriormente, los filtros permiten categorizar los elementos a conveniencia de la clasificación y asociar estas propiedades a un conjunto específico de elementos del modelo, como todos los cielos del proyecto o los muros de mampostería.

Una vez configurado el archivo, los usuarios con permisos de escritura pueden abrirlo, seleccionar un elemento en el visor 3D y registrar o modificar el valor de las propiedades asignadas. De esta forma, un ingeniero residente podría marcar una columna como "Construida", generando un registro simple y estructurado del avance físico directamente sobre el modelo. No obstante, la documentación técnica oficial detalla este flujo de trabajo únicamente desde la interfaz web, sin confirmar si la edición de valores puede realizarse desde la aplicación móvil en campo.

Si bien el sistema no colorea automáticamente los elementos según los valores de las propiedades, estos pueden utilizarse como filtros para agrupar, aislar o clasificar componentes dentro del modelo. Además, mediante la función *Colorize*, es posible representar gráficamente el estado de ejecución asignando colores distintivos a cada valor, a través de la categoría como los elementos que se construyeron en determinada semana, ofreciendo así una lectura visual del avance del proyecto.

En conjunto, los *Archivos de Datos BIM* permiten transformar el modelo en una base de datos dinámica que conecta la información geométrica con la gestión operativa del proyecto. Esta integración promueve la trazabilidad, el control visual del progreso y la colaboración entre los equipos de diseño y ejecución, consolidando al modelo BIM como la fuente central de información durante la obra.

En la Tabla 8 se muestra el resumen de la integración de Dalux y sus beneficios en la cuantificación de elementos modelados en Estructuras S.A.

**Tabla 8.** Integración de módulos de Dalux y sus beneficios en Estructuras S.A.

| Problema Solucionado en Estructuras S.A.                                       | Módulo/Funcionalidad Dalux Aplicable   | Capacidades Clave                                                                                                                                                                                                                                                                             | Beneficio Estratégico para el Ingeniero Residente                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cuantificación manual de elementos modelados.                                  | Dalux Field (Quantities)               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Extracción de cantidades desde modelo 3D con filtros avanzados.</li> <li>- Exportación de datos a Excel para su consolidación y análisis final.</li> </ul>                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Automatización de la extracción de datos para estimación, aunque requiere un paso final de suma en Excel.</li> <li>- Reducción significativa del riesgo de error humano.</li> </ul>                    |
| Control de avance subjetivo y con subcontratistas.                             | Dalux Field (Task Management)          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de gestión de tareas digital, centralizado y auditable.</li> <li>- Tareas vinculadas a elementos 2D/3D con responsables, plazos y evidencia.</li> </ul>                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Creación de un registro objetivo y trazable para la aprobación de pagos.</li> <li>- Reducción de la fricción administrativa y las disputas contractuales.</li> </ul>                                   |
| Control de avance subjetivo y con subcontratistas.                             | Dalux Box Pro (Archivos de Datos BIM)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adición de propiedades personalizadas (texto, número, lista) a objetos del modelo.</li> <li>- Enriquecimiento de datos en la nube sin modificar el archivo de diseño.</li> <li>- Requiere permisos de escritura y licencia Dalux Box Pro.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Creación de un registro de construcción digital y detallado.</li> <li>- Potencial para seguimiento de estado simple (ej., 'Construido' sí/no) sin un módulo de gestión de activos dedicado.</li> </ul> |
| Necesidad de validación visual del trabajo ejecutado y documentación as-built. | Dalux Field (SiteWalk con BIM Compare) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Captura de la realidad con fotos 360° y mapeo automático a planos.</li> <li>- Superposición del modelo BIM sobre las fotos para comparación as-built.</li> </ul>                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Herramienta de validación visual irrefutable para control de calidad y progreso.</li> <li>- Documentación completa y georreferenciada del estado de la obra en el tiempo.</li> </ul>                   |

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

### 3.3.4.3. Análisis de la Integración Revit + Power BI para *Business Intelligence*

A diferencia de las plataformas de gestión en campo, la combinación de Autodesk Revit con Microsoft Power BI se posiciona como una solución de *Business Intelligence* (BI) enfocada en el análisis estratégico de la información del proyecto. Su objetivo no es la gestión activa de tareas en obra, sino la transformación de los datos crudos del modelo BIM en información visual y analítica que apoye la toma de decisiones a nivel técnico o gerencial.

En este sentido, la integración convierte el modelo en una base de datos analítica, desde la cual se pueden generar reportes o visualizaciones interactivas que muestren el rendimiento del proyecto, las cantidades o las áreas críticas.

#### **Funcionalidad para la estimación y el control**

La principal ventaja de esta integración radica en su capacidad para extraer, filtrar y visualizar datos de manera flexible. Por ejemplo, puede emplearse un panel de extracción de cantidades (QTO) que permita al ingeniero filtrar el modelo 3D por nivel, categoría o material, obteniendo de forma instantánea los volúmenes de concreto, áreas de encofrado o número de elementos estructurales. Esto agiliza los procesos de verificación y estimación de materiales, especialmente durante la etapa de pre-construcción o control de compras.

Sin embargo, cuando se analiza su aplicación en el control del avance de obra, las limitaciones se vuelven más evidentes. Power BI depende de datos previamente procesados o exportados desde Revit, por lo que no permite un seguimiento dinámico o en tiempo real del progreso constructivo. Su función, en este caso, es más de apoyo visual que de gestión directa: permite representar gráficamente el estado general del proyecto mediante códigos de color o gráficos comparativos, pero no sustituye las herramientas específicas de control diario que utilizan los ingenieros residentes.

#### **Conectores y software de terceros**

Para que la integración entre Revit y Power BI funcione adecuadamente, es necesario el uso de conectores intermedios o software de terceros que actúan como puente entre ambos entornos. Esto se debe a que Revit no exporta de forma nativa los datos en un formato que Power BI pueda interpretar directamente. Entre los métodos más comunes se encuentran:

- Exportación mediante Dynamo o Revit DB Link, que permite generar archivos en formato CSV, Excel o bases de datos SQL con la información de los elementos del modelo (parámetros, categorías, volúmenes, etc.). Estos archivos luego se vinculan manualmente a Power BI.
- Uso de conectores especializados, como Speckle, TruBI, BIM One Power BI Connector o Autodesk Data Connector, que automatizan el flujo de información entre Revit y Power BI, reduciendo la necesidad de procesos manuales. Sin embargo, estos conectores suelen tener limitaciones en cuanto al volumen de datos, la frecuencia de actualización o la compatibilidad con versiones específicas de Revit.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

Estas soluciones facilitan la visualización analítica, pero no garantizan un flujo de información continuo ni automatizado. En la práctica, los datos deben ser preparados, filtrados y validados antes de actualizar los paneles en Power BI, lo que limita su uso para el seguimiento operativo diario en obra.

En la Tabla 9 se sintetizan las principales funcionalidades, ventajas y limitaciones identificadas en la integración entre Revit y Power BI, considerando su aplicabilidad en procesos de estimación, control y análisis estratégico dentro del entorno BIM.

**Tabla 9.** Resumen de funcionalidades y beneficios de la integración Revit + Power BI.

| Problema Solucionado en Estructuras S.A.                                           | Módulo/Funcionalidad Aplicable             | Capacidades Clave                                                                                                                                                                                                                  | Beneficio Estratégico para el Ingeniero Residente                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cuantificación manual lenta y necesidad de verificación de datos.                  | Dashboard de QTO en Power BI               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualización interactiva del modelo 3D.</li> <li>- Filtrado de elementos por propiedades BIM (nivel, categoría, etc.).</li> <li>- Cálculo automático de cantidades agregadas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificación rápida y precisa de cantidades para la estimación.</li> <li>- Reducción del tiempo dedicado a la consulta manual de planos.</li> </ul>                                                              |
| Control de avance subjetivo y falta de visión global del rendimiento del proyecto. | Dashboard de Control de Avance en Power BI | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualización general del estado del proyecto.</li> </ul>                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Herramienta de apoyo visual para reuniones de seguimiento.</li> <li>- Facilita la comunicación del estado general del proyecto.</li> <li>- No reemplaza la gestión continua ni los controles en obra.</li> </ul> |

### 3.3.5. Análisis de selección de herramientas tecnológicas

Con los criterios de evaluación definidos y ponderados según su importancia estratégica para Estructuras S.A., el siguiente paso consiste en la aplicación sistemática de este marco de análisis. Esta sección traduce el método de Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA) en una evaluación práctica y cuantitativa de las alternativas tecnológicas preseleccionadas. El objetivo es seleccionar las herramientas óptimas para resolver las dos ineficiencias críticas identificadas en el diagnóstico: el proceso manual de cuantificación de materiales y el sistema subjetivo de control del avance de obra. Este procedimiento asegura que la selección final no sea una decisión arbitraria, sino el resultado de un análisis estructurado, transparente y basado en datos, alineado directamente con las necesidades operativas y las prioridades de la empresa.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

### 3.3.5.1. Aplicación del análisis multicriterio para la estimación de materiales

El primer análisis se enfoca en seleccionar una solución tecnológica para reemplazar el actual proceso de cuantificación de materiales, o "cuantificación", que se ha identificado como una tarea manual, susceptible a errores y consumidora de un tiempo valioso para el ingeniero residente. Las tres alternativas evaluadas para este propósito son Autodesk Takeoff, Dalux Quantities y la integración de Revit con Power BI.

Cada una de estas soluciones será calificada según los cinco criterios ponderados, utilizando la rúbrica de puntuación definida previamente para justificar cada valoración como se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Rúbrica de puntuación para análisis multicriterio

| Puntuación   | Funcionalidad central                                                 | Usabilidad y adopción                                                      | Integración con ecosistema                                               | Costo Total                                                   |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1 (Muy Bajo) | No cumple con el requisito funcional principal.                       | Muy complejo, requiere intervención especializada.                         | Conexión imposible con el ecosistema actual                              | Requiere una inversión muy alta y significativa.              |
| 2 (Bajo)     | Cumple parcialmente el requisito, es una solución incompleta.         | Curva de aprendizaje alta, flujo de trabajo no optimizado para el campo.   | No nativa, requiere conectores de terceros y procesos manuales.          | Requiere una inversión adicional significativa.               |
| 3 (Moderado) | Cumple el objetivo básico de forma indirecta o con pasos adicionales. | Interfaz familiar, pero con limitaciones en el flujo de trabajo.           | Integración no nativa pero funcional, con posibles silos de datos.       | Requiere la compra de una licencia de pago de costo moderado. |
| 4 (Alto)     | Cumple bien el objetivo, aunque con alguna limitación menor.          | Interfaz de escritorio orientada a la tarea o móvil muy familiar.          | Integración nativa, pero con alguna consideración (ej. estado BETA).     | Costo bajo, requiere una licencia de pago de menor nivel.     |
| 5 (Muy Alto) | Cumple perfectamente con el requisito, solución completa y nativa.    | Flujo de trabajo móvil, simple e intuitivo, alta probabilidad de adopción. | Integración nativa y perfecta con el ecosistema principal de la empresa. | Sin costo adicional o incluido en licencias existentes.       |

#### Análisis detallado por criterio

A continuación, se presenta la evaluación detallada de cada alternativa frente a los criterios establecidos, justificando la puntuación asignada a partir del contexto operativo y tecnológico de Estructuras S.A.

#### Funcionalidad central (Peso: 37%)

Este criterio, el de mayor peso, evalúa la capacidad de la herramienta para resolver de manera integral el problema de la cuantificación.

- **Autodesk Takeoff (Puntaje: 4 - Alto):** Esta herramienta obtiene una puntuación alta debido a su robusto flujo de trabajo híbrido 2D/3D. Esta capacidad es de vital importancia, ya que el diagnóstico de la empresa confirmó que una de las principales restricciones operativas es la decisión de no modelar el acero de refuerzo en 3D para optimizar los tiempos de pre-construcción. Autodesk Takeoff aborda directamente esta realidad al permitir que el ingeniero extraiga los volúmenes de concreto directamente del modelo 3D y, dentro de la misma interfaz, cuantifique las longitudes y diámetros del acero de refuerzo sobre los planos 2D. Este enfoque está alineado con el perfil del usuario final, ya

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

que la herramienta está diseñada para que el estimador no necesite ser un experto en modelado o dibujo, permitiéndole trabajar directamente sobre los modelos o PDF recibidos (ver Apéndice N).

- **Dalux Quantities (Puntaje: 3 - Moderado):** La puntuación de Dalux se justifica por su enfoque principal en la extracción de datos desde el modelo 3D. Si bien es una herramienta potente para obtener cantidades de elementos modelados, carece de una funcionalidad integrada y fluida para la cuantificación sobre planos 2D. Para manejar el acero de refuerzo, el ingeniero tendría que recurrir a pasos externos, como realizar cálculos manuales y luego consolidar esa información con los datos exportados a una hoja de cálculo.
- **Revit + Power BI (Puntaje: 2 - Bajo):** Esta combinación recibe una puntuación baja porque su propósito fundamental no es la cuantificación, sino la inteligencia de negocios (*Business Intelligence*) y la visualización de datos. Puede mostrar de manera efectiva las cantidades que han sido extraídas y procesadas por otros medios, pero no proporciona las herramientas de flujo de trabajo para realizar la cuantificación en sí misma.

### Usabilidad y adopción (Peso: 22%)

Este criterio evalúa la facilidad de uso de la herramienta, considerando el perfil del ingeniero residente.

- **Autodesk Takeoff, Dalux Quantities y Revit + Power BI (Puntaje: 3 - Moderado):** La puntuación uniforme para las tres alternativas se explica por el perfil del usuario final, definido en el diagnóstico como un "consumidor de información" y no como un modelador BIM experto. Todas estas plataformas, aunque potentes, presentan una curva de aprendizaje y una complejidad superiores a las de una aplicación móvil simple. Su interfaz puede considerarse "familiar, pero con limitaciones en el flujo de trabajo" para un profesional técnico. Ninguna de las tres alcanza la simplicidad de un "flujo de trabajo móvil, simple e intuitivo" que justificaría una puntuación máxima.

### Integración con ecosistema (Peso: 15%)

Este criterio mide la fluidez con la que la herramienta se conecta con la infraestructura tecnológica existente en Estructuras S.A.

- **Autodesk Takeoff (Puntaje: 5 - Muy Alto):** Su puntuación máxima se debe a que es un módulo nativo dentro de Autodesk Construction Cloud (ACC), plataforma que ya funciona como el Entorno Común de Datos (CDE) de la empresa. Esto representa una integración nativa y perfecta con el ecosistema principal de la empresa.
- **Dalux Quantities (Puntaje: 4 - Alto):** Dalux también es una parte central del ecosistema tecnológico de la empresa. Sin embargo, el flujo de datos desde la herramienta principal de autoría (Autodesk Revit) hacia Dalux puede requerir procesos específicos de publicación o exportación.
- **Revit + Power BI (Puntaje: 2 - Bajo):** Esta integración no es nativa. Depende de procesos manuales de exportación de datos o del uso de conectores de terceros, que pueden ser complejos de configurar y mantener.

### Costo total (Peso: 26%)

Este criterio considera la inversión económica necesaria para implementar y mantener la solución.

- **Autodesk Takeoff (Puntaje: 2 - Bajo):** Se trata de un módulo premium que se adquiere como un complemento a la suscripción base de ACC. Por lo tanto, requiere una inversión adicional significativa.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

- **Dalux Quantities (Puntaje: 3 - Moderado):** Esta funcionalidad forma parte de la licencia de Dalux Field, lo que probablemente representa una actualización o compra de licencia de costo intermedio.
- **Revit + Power BI (Puntaje: 5 - Muy Alto):** Dado que Estructuras S.A. ya posee licencias de Autodesk Revit y que Power BI a menudo se incluye en las suscripciones corporativas existentes de Microsoft 365, esta solución representa un escenario sin costo adicional.

La aplicación de las puntuaciones y ponderaciones a cada alternativa genera los resultados cuantitativos que se resumen en el Tabla 11.

**Tabla 11.** Resultados del análisis multicriterio para estimación de materiales.

| Criterios por evaluar      | Parámetro | Autodesk Takeoff |       | Dalux Quantities |       | Revit + Power BI |       |
|----------------------------|-----------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|
|                            |           | Puntaje          | Valor | Puntaje          | Valor | Puntaje          | Valor |
| Funcionalidad central      | 37%       | 4                | 30%   | 3                | 22%   | 2                | 15%   |
| Usabilidad y adopción      | 22%       | 3                | 13%   | 3                | 13%   | 3                | 13%   |
| Integración con ecosistema | 15%       | 5                | 15%   | 4                | 12%   | 2                | 6%    |
| Costo total                | 26%       | 2                | 10%   | 3                | 16%   | 5                | 26%   |
| Total                      | 100%      |                  | 68%   |                  | 63%   |                  | 60%   |

El análisis cuantitativo declara a Autodesk Takeoff como la solución ganadora, con una puntuación final ponderada del 68%. Aunque no es la opción de menor costo, su desempeño superior en el criterio de Funcionalidad Central es el factor decisivo. Autodesk Takeoff es la única alternativa que resuelve de manera elegante y completa el problema crítico del flujo de trabajo híbrido 2D/3D, una realidad operativa ineludible para Estructuras S.A. debido a su práctica de no modelar el acero de refuerzo. Esta alineación estratégica con los procesos reales de la empresa supera la consideración del costo, posicionándola como la solución más efectiva y de mayor valor a largo plazo para automatizar y fiabilizar la estimación de materiales.

### 3.3.5.2. Aplicación del análisis multicriterio para el control del avance de obra

El segundo análisis se centra en seleccionar una herramienta para digitalizar el control del avance de obra, con el fin de reemplazar el sistema actual, que es subjetivo, basado en hojas de cálculo. Las cuatro alternativas evaluadas para este fin son: Autodesk Build (módulo de Activos), Dalux Field (módulo de Tareas), Dalux BIM Data Files y ACC Extended Properties.

#### Análisis detallado por criterio

Se procede a la evaluación sistemática de cada una de estas soluciones frente a los criterios ponderados.

### Funcionalidad central (Peso: 37%)

Este criterio evalúa la capacidad de la herramienta para proporcionar un sistema de control de avance objetivo y visual.

- **Autodesk Build (Assets) (Puntaje: 4 - Alto):** Obtiene la puntuación más alta en esta categoría por su módulo de "Activos", que está específicamente diseñado para el seguimiento del estado de los componentes del proyecto. Permite una actualización sencilla en campo y proporciona una retroalimentación visual directa mediante un sistema de codificación por colores en el modelo 3D, lo que la convierte en una solución casi completa y alineada con el objetivo.
- **Dalux Field (Task) (Puntaje: 3 - Moderado):** Su fortaleza reside en la gestión de tareas auditable, ideal para el seguimiento de incidencias y aprobaciones formales. Sin embargo, no ofrece una retroalimentación visual directa sobre el modelo 3D basada en el progreso de dichas tareas. El seguimiento es a través de listas y paneles, no de una coloración dinámica del modelo, por lo que se considera una solución indirecta para el control visual del avance.
- **Dalux BIM Data Files y ACC Extended Properties (Puntaje: 3 - Moderado):** Ambas herramientas se clasifican como soluciones indirectas. Permiten al usuario introducir datos de estado como una propiedad personalizada en los objetos del modelo (por ejemplo, "Estado: Construido"). Si bien esta capacidad es poderosa para registrar información, no constituyen sistemas dedicados de seguimiento de progreso con flujos de trabajo predefinidos, como sí lo es Autodesk Build.

### Usabilidad y adopción (Peso: 22%)

Este criterio se enfoca en la experiencia del usuario de campo al interactuar con la herramienta.

- **Autodesk Build y Dalux Field (Puntaje: 4 - Alto):** Ambas son plataformas maduras y orientadas al uso en campo, con aplicaciones móviles altamente valoradas y diseñadas específicamente para el ingeniero residente.
- **Dalux BIM Data Files (Puntaje: 3 - Moderado):** Aunque la funcionalidad es potente, la interfaz para la entrada de datos puede ser menos directa que una aplicación de gestión de tareas dedicada, lo que podría presentar una curva de aprendizaje ligeramente mayor para el usuario final.
- **ACC Extended Properties (Puntaje: 2 - Bajo):** Ambas herramientas se clasifican como soluciones indirectas. Permiten al usuario introducir datos de estado como una propiedad personalizada en los objetos del modelo. En el caso de Dalux, esta funcionalidad de "Archivos de Datos BIM" permite añadir metadatos sin alterar el modelo de diseño original, para luego filtrar y visualizar los elementos por su estado (ver Apéndice M). Una vez configurado, es posible asignar reglas de visualización para que el modelo se coloree automáticamente según el estado de construcción (ej. "Construido" en verde), proporcionando una retroalimentación visual inmediata del progreso para todo el equipo (ver Apéndice O).

### Integración con ecosistema (Peso: 15%)

Este criterio evalúa la compatibilidad con la infraestructura tecnológica de la empresa.

- **Autodesk Build, Dalux Field y Dalux BIM Data Files (Puntaje: 5 - Muy Alto):** Las tres soluciones están perfectamente integradas de forma nativa en sus respectivas plataformas (ACC y Dalux), las cuales son pilares del ecosistema tecnológico de Estructuras S.A.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

- **ACC Extended Properties (Puntaje: 4 - Alto):** Siendo nativa del ecosistema ACC, su condición de funcionalidad más reciente podría implicar algunas consideraciones o limitaciones en su implementación actual en comparación con los módulos más establecidos.

#### Costo total (Peso: 26%)

Este criterio analiza la inversión económica requerida.

- **Autodesk Build (Puntaje: 1 - Muy Bajo):** Es un módulo premium de ACC que requiere una inversión muy alta y significativa para su adquisición.
- **Dalux Field (Puntaje: 3 - Moderado):** Su implementación requiere la compra de una licencia de costo moderado.
- **Dalux BIM Data Files y ACC Extended Properties (Puntaje: 5 - Muy Alto):** Ambas son funcionalidades que ya están incluidas en las licencias que Estructuras S.A. posee actualmente (Dalux Box Pro y Autodesk Docs, respectivamente), lo que no representa que no haya costo adicional.

La consolidación de las puntuaciones y ponderaciones para las alternativas de control de avance se presenta en el Tabla 12.

**Tabla 12.** Resultados del análisis multicriterio para el control del avance de obra.

| Criterios por evaluar      | Parámetro | Autodesk Build (Assets) |       | Dalux Field (Task) |       | Dalux BIM Data Files |       | ACC Extended Properties |       |
|----------------------------|-----------|-------------------------|-------|--------------------|-------|----------------------|-------|-------------------------|-------|
|                            |           | Puntaje                 | Valor | Puntaje            | Valor | Puntaje              | Valor | Puntaje                 | Valor |
| Funcionalidad central      | 37%       | 4                       | 30%   | 3                  | 22%   | 3                    | 22%   | 3                       | 22%   |
| Usabilidad y adopción      | 22%       | 4                       | 18%   | 4                  | 18%   | 3                    | 13%   | 2                       | 9%    |
| Integración con ecosistema | 15%       | 5                       | 15%   | 5                  | 15%   | 5                    | 15%   | 4                       | 12%   |
| Costo total                | 26%       | 1                       | 5%    | 3                  | 16%   | 5                    | 26%   | 5                       | 26%   |
| Total                      | 100%      |                         | 67%   |                    | 70%   |                      | 76%   |                         | 69%   |

El resultado del análisis declara a Dalux BIM Data Files como la solución ganadora, con una puntuación final del 76%. Esta elección ilustra una decisión estratégica basada en el pragmatismo y la optimización de recursos. Si bien Autodesk Build (Assets) ofrece una funcionalidad superior, su costo prohibitivo, reflejado en una puntuación de 1 en el criterio de Costo Total (con un peso del 26%), la penaliza significativamente en la evaluación final.

Por el contrario, Dalux BIM Data Files presenta una solución "suficientemente buena" que representa una mejora sustancial sobre el proceso manual actual, sin incurrir en costos adicionales de licenciamiento. Es la elección más pragmática y financieramente responsable, ya que permite a Estructuras S.A. dar un paso significativo en su transformación digital con un bajo riesgo y una alta probabilidad de adopción. Prioriza la generación de valor inmediato y la utilización de las herramientas existentes sobre la adquisición de la tecnología más costosa, lo que la convierte en la opción estratégicamente más sólida para iniciar la digitalización del control de avance.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

### 3.3.5.3. Síntesis de la solución tecnológica propuesta

La conclusión del Análisis de Decisión Multicriterio define la base tecnológica sobre la cual se diseñará la propuesta de integración para Estructuras S.A. La solución propuesta consiste en una combinación de dos herramientas específicas, cada una seleccionada para resolver uno de los cuellos de botella identificados:

1. **Para la estimación de materiales:** Se selecciona **Autodesk Takeoff**.
2. **Para el control del avance de obra:** Se selecciona **Dalux BIM Data Files**.

Esta combinación de herramientas representa una solución equilibrada, potente y costo-efectiva, diseñada a la medida de las realidades operativas, el ecosistema tecnológico y las prioridades estratégicas de la empresa. Al capitalizar las fortalezas de las plataformas de Autodesk y Dalux, ya implementadas en la organización, se establece un camino claro para el diseño de nuevos flujos de trabajo que integrarán de manera efectiva la información del modelo BIM en las tareas diarias del ingeniero residente, cerrando la brecha entre la oficina técnica y la ejecución en campo.

### 3.3.6. Diseño de la propuesta para la estimación de materiales

El diseño de la propuesta para la estimación de materiales en Estructuras S.A. se fundamenta en un cambio de paradigma: la transición de un proceso de interpretación manual a uno de extracción de datos digitales. El flujo de trabajo tradicional, documentado en el diagnóstico "As-Is", se basa en la habilidad del ingeniero residente para interpretar planos 2D, una tarea que, aunque demuestra su pericia técnica, es lenta, repetitiva y susceptible a errores de cálculo y omisión.

Este método tradicional es una manifestación directa de los "desperdicios" identificados bajo el marco de *Lean Construction*: el sobre-procesamiento, que se refiere a las horas que un profesional altamente cualificado invierte en una tarea de bajo valor añadido que puede ser automatizada, y los defectos, que representan el alto riesgo de imprecisiones que pueden derivar en sobrecostos por exceso de compra o en retrasos críticos por falta de material en obra.

La propuesta, centrada en la herramienta Autodesk Takeoff, aborda estos desperdicios de raíz al redefinir el proceso. En lugar de depender de la interpretación humana de líneas y símbolos en un documento estático, el nuevo flujo de trabajo se basa en la extracción directa de información geométrica y no geométrica desde una fuente de datos centralizada y fiable: el modelo BIM. Este cambio no es meramente una aceleración del proceso existente, sino una transformación fundamental de su naturaleza. Esta transición tiene una implicación estratégica que va más allá de la eficiencia operativa: redefine y eleva el rol del ingeniero residente.

Este reenfoque del rol del ingeniero no solo aumenta su productividad, sino que también responde directamente a la necesidad estratégica de la empresa de "optimizar las labores del personal de campo para que puedan dedicarse a tareas de mayor valor", convirtiendo al ingeniero residente en un gestor más eficaz de los recursos del proyecto.

#### 3.3.6.1. Arquitectura del flujo de trabajo y redefinición de roles

La arquitectura de la propuesta se concibe como una "cadena de suministro digital", un flujo de trabajo colaborativo que conecta de manera controlada y auditable las actividades de la oficina técnica con las necesidades de la obra. Este modelo establece una relación entre el departamento de Construcción Virtual (CV), que actúa como el preparador y custodio de la información, y el Ingeniero Residente, quien es el consumidor y validador de dicha información en la fase de ejecución. Esta estructura no solo garantiza la

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

integridad de los datos, sino que también clarifica las responsabilidades, alineándose con los principios de gestión de la información de la norma ISO 19650.

Un pilar fundamental de esta arquitectura es la separación deliberada de la complejidad. Los aspectos más técnicos y procedimentales de la propuesta —como la configuración inicial del proyecto en la plataforma ACC, la gestión de permisos y la estructuración de la información— son asignados al Departamento de CV, que posee el conocimiento especializado. Por otro lado, el flujo de trabajo destinado al ingeniero residente se diseña para ser simple, lineal y orientado a la tarea, presentándole un entorno de trabajo listo para usar.

Esta división del trabajo es, en esencia, una estrategia de gestión del cambio. Al blindar al usuario final de la complejidad técnica, se reduce significativamente la curva de aprendizaje y la carga cognitiva. El ingeniero residente percibe la nueva herramienta no como una responsabilidad adicional y compleja, sino como un facilitador que agiliza sus funciones críticas. El proceso formalizado en el Procedimiento Operativo Estándar (SOP) culmina con la "Notificación y Entrega" de un entorno de cuantificación completamente configurado al ingeniero, marcando la transición de responsabilidades.

### 3.3.6.2. Fase de preparación y gobernanza de datos

Esta fase preparatoria, ejecutada íntegramente por el departamento de Construcción Virtual (CV), constituye el fundamento de toda la propuesta. Lejos de ser meras tareas administrativas, estos pasos representan actos críticos de gobernanza de datos. El proceso se estructura en tres macro-etapas secuenciales, detalladas en el SOP:

1. **Creación y administración del proyecto:** El proceso se inicia con la creación formal del proyecto en la plataforma Autodesk Construction Cloud (ACC) configurando el proyecto acorde a los estándares y metodología de la empresa, además, administran los miembros del equipo, asignando roles y activando los servicios necesarios. Este es un "punto de control crítico", ya que se debe activar explícitamente el módulo Autodesk Takeoff para los ingenieros que realizarán cuantificaciones, asegurando que tengan acceso a la herramienta correcta.
2. **Estructuración y población:** En esta etapa se construye la base de datos del proyecto. El ingeniero de CV despliega la estructura de carpetas estándar dentro de Autodesk Docs y procede a cargar y publicar la documentación de diseño.

Es fundamental la distinción entre una simple "carga" de archivos y una "publicación" formal desde Autodesk Revit. Solo los modelos publicados son visibles y utilizables en módulos como Takeoff. Este proceso controlado asegura que únicamente las versiones verificadas y aprobadas de los modelos estén disponibles para el equipo de campo, eliminando el riesgo de trabajar con información desactualizada.

3. **Preparación del entorno de cuantificación:** Una vez que el ACC está poblado con información fiable, el ingeniero de CV configura el módulo Autodesk Takeoff. Esto incluye la definición de parámetros base como el sistema métrico, la creación de "Conjuntos" o paquetes de cuantificación para alcances de trabajo específicos (ej. "EST-PAB5-Cimentaciones"), y la vinculación de los modelos y planos pertinentes.

El paso final y más importante de esta fase es la creación de "Tipos de Medición" (*Takeoff Types*). Estos son plantillas preconfiguradas que definen qué se va a medir (ej. "Concreto - Cimentaciones") y cómo (ej. en m<sup>3</sup>, usando la herramienta BIM 3D). Al predefinir estas plantillas, el CV simplifica drásticamente el trabajo del ingeniero residente, quien solo necesitará seleccionar la plantilla adecuada y aplicarla a los elementos del modelo.

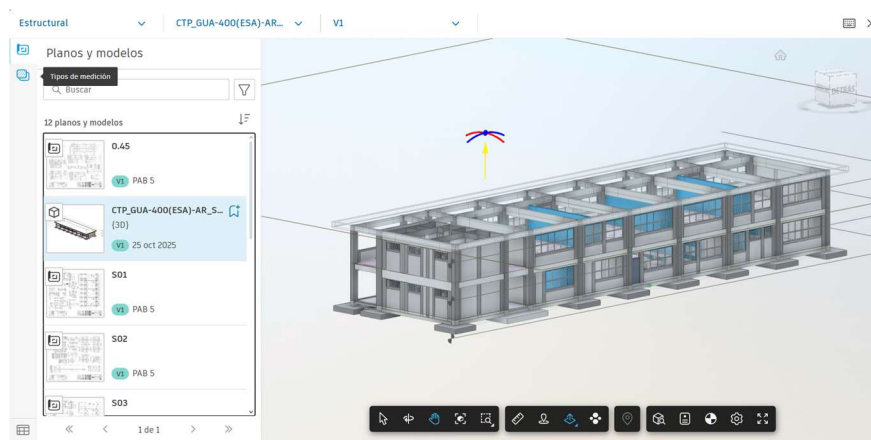
Un aspecto clave de esta configuración es que tanto el CV como el ingeniero deben conocer las propiedades que contienen los elementos del modelo. En ciertos casos, como en fundaciones complejas, el volumen puede no ser una propiedad directa, sino que debe calcularse a partir de otras, como el área y la profundidad. Es responsabilidad del CV identificar estos escenarios y preconfigurar los "Tipos de medición" con las fórmulas simples necesarias para asegurar una extracción de datos correcta.

Este flujo de trabajo preparatorio crea un poderoso bucle de retroalimentación para el control de calidad. Si un ingeniero residente, al seguir su guía de usuario, no puede extraer una cantidad utilizando una plantilla preconfigurada, el problema no se atribuye a un error del ingeniero, sino que se evidencia una no conformidad en el modelo de información. La falla en la extracción de datos se convierte en un indicador objetivo de la mala calidad del modelo.

Esto obliga al ingeniero a reportar la incidencia al CV, que a su vez obtiene una justificación técnica y documentada para corregir el modelo. De esta manera, el propio flujo de trabajo se convierte en un mecanismo para hacer cumplir los estándares de calidad de la información, transformando un problema de ejecución en una acción de gobernanza de datos en la pre-construcción.

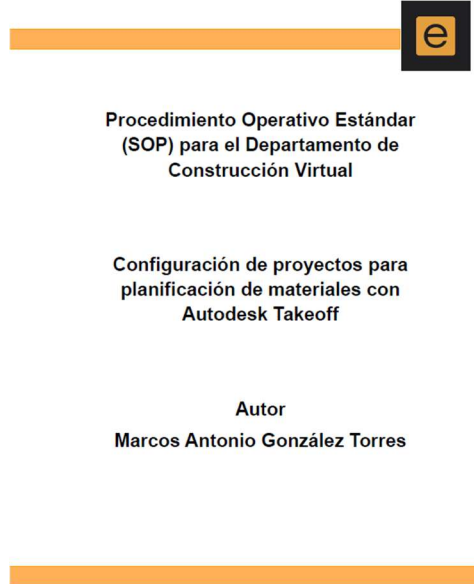
El resultado de la preparación de Autodesk Takeoff se muestra en la Figura 9 y en la Figura 10 se muestra la portada del Procedimiento Operativo Estándar (SOP) para el departamento de Construcción Virtual.

**Figura 9.** Configuración de Takeoff.



Fuente. Captura de pantalla realizada en Takeoff (2025)

**Figura 10.** Procedimiento Operativo Estándar: configuración Takeoff.



### 3.3.6.3. Ejecución y validación

Esta fase detalla el flujo de trabajo del usuario final, traduciendo los pasos instructivos de la "Guía práctica para el Ingeniero Residente" (Figura 11) en una descripción analítica del proceso. El diseño se centra en la simplicidad y la eficiencia, permitiendo al ingeniero capitalizar la información del modelo BIM sin requerir habilidades de modelado avanzadas.

**Figura 11.** Guía práctica para el ingeniero residente Takeoff.



Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

## Extracción automatizada de cantidades desde el modelo 3D

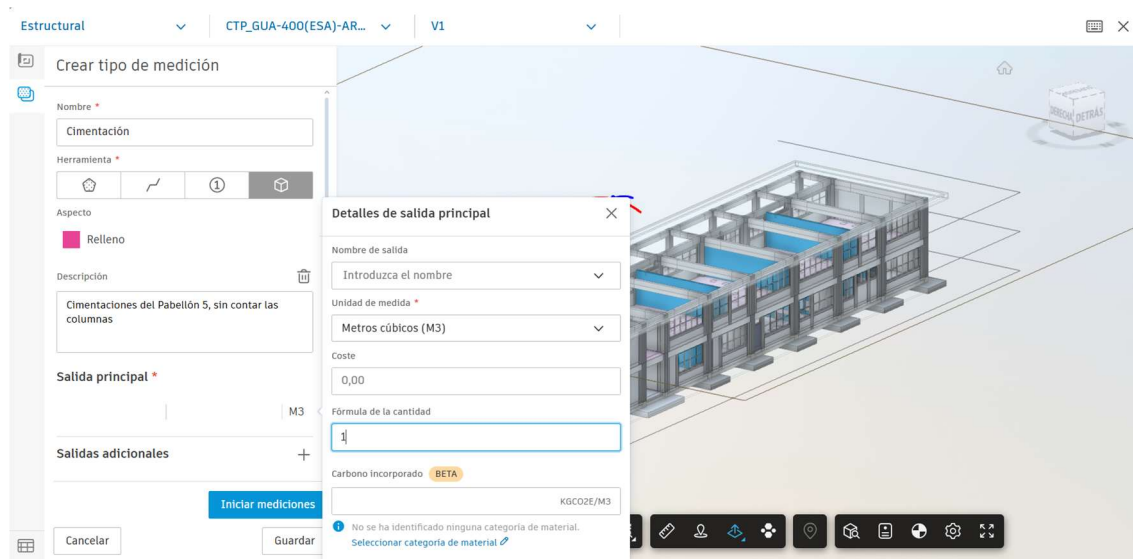
El proceso comienza cuando el ingeniero residente accede al paquete de cuantificación preparado por el CV y abre el visor del modelo 3D. Utilizando los "Tipos de Medición" predefinidos (ej. "Volumen de Concreto"), selecciona los elementos modelados que necesita cuantificar, como cimentaciones, columnas o vigas.

A medida que selecciona los objetos en el visor, el sistema los resalta visualmente y calcula de forma automática la cantidad total, que se muestra en un panel. Este paso representa la contramedida directa al sobre-procesamiento, eliminando por completo la necesidad de medir manualmente las dimensiones y realizar cálculos en una hoja externa para todos los elementos que están correctamente modelados. El sistema trata al modelo como una base de datos, consultando directamente sus propiedades geométricas para obtener resultados precisos e instantáneos.

No obstante, la automatización no exime al ingeniero de comprender la estructura de datos del modelo. Es fundamental que tenga presente las propiedades de los elementos que está cuantificando. Por ejemplo, para ciertos tipos de cimentaciones, el volumen podría no extraerse directamente, sino a través de una fórmula simple preconfigurada por el CV que multiplica parámetros como el área y la profundidad. El ingeniero debe ser consciente de esto para validar que el método de cálculo es el correcto y, de ser necesario, aplicar o ajustar una fórmula simple para garantizar la precisión del dato final.

Este entorno de interacción se ilustra en la Figura 12, que muestra la interfaz de Autodesk Takeoff. Dicha visualización permite apreciar cómo el software integra la selección gráfica con el panel de datos, proporcionando al ingeniero la transparencia necesaria para auditar las fórmulas y confirmar la validez de los resultados obtenidos.

Figura 12. Uso de tipos de medición Takeoff.



Fuente. Captura de pantalla realizada en Takeoff (2025)

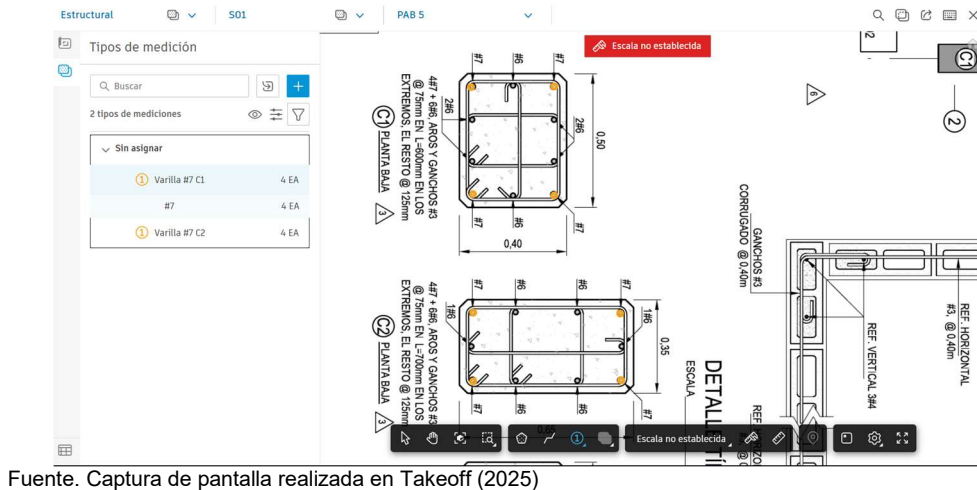
## Metodología híbrida: Cuantificación 2D para elementos no modelados

Esta metodología es descrita en la guía como "una de las capacidades más importantes de la herramienta para Estructuras S.A.". Representa la adaptación pragmática del sistema a la realidad operativa de la empresa, donde, por decisión estratégica para optimizar los recursos de modelado, el acero de refuerzo no se modela en 3D. Una herramienta de cuantificación puramente tridimensional sería, por tanto, una solución incompleta.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

El flujo de trabajo híbrido resuelve este desafío. Dentro del mismo paquete de cuantificación, el ingeniero cambia la vista al plano estructural 2D correspondiente al despiece del acero. Utilizando herramientas de medición digital como "Medición Lineal" para las longitudes de las varillas y "Conteo" para los estribos, traza directamente sobre el plano. La herramienta suma automáticamente todas las mediciones asociadas a un "Tipo de Medición" específico para el acero. Esta capacidad de integrar mediciones 2D y 3D en una única interfaz y consolidarlas en un solo listado es lo que hace que la solución sea viable y efectiva, permitiendo a la empresa generar valor inmediato de sus modelos sin necesidad de una reestructuración costosa de sus prácticas de modelado. Como se muestra en la Figura 13.

**Figura 13.** Uso de medición 2D Takeoff.



Fuente. Captura de pantalla realizada en Takeoff (2025)

## Consolidación y validación humana en el inventario

Una vez completadas las mediciones 2D y 3D, el ingeniero navega a la pestaña "Inventario". En esta sección, el sistema presenta una tabla consolidada que resume todas las cantidades medidas, agrupadas por material (ej. Concreto, Acero). Este es el "punto de control de calidad humano". La tecnología ha realizado el trabajo laborioso y propenso a errores de cálculo, pero ahora es responsabilidad del ingeniero aplicar su "experiencia y juicio de ingeniería para validar que las cantidades totales son razonables y consistentes con el alcance del trabajo definido".

Este diseño "humano-en-el-bucle" (*human-in-the-loop*) es crucial, ya que combina la velocidad y precisión de la automatización con el pensamiento crítico y la validación contextual que solo un experto puede proporcionar. Mitiga el riesgo de una confianza ciega en la tecnología y asegura que el resultado final sea práctico y fiable. Este proceso se complementa con verificaciones físicas periódicas en campo, bajo el principio de "confiar, pero verificar", que sirven para auditar la precisión del modelo digital contra la realidad construida. Finalmente, el inventario validado puede ser exportado a un archivo de Microsoft Excel (.xlsx) para su distribución y uso en el proceso de solicitud de compra.

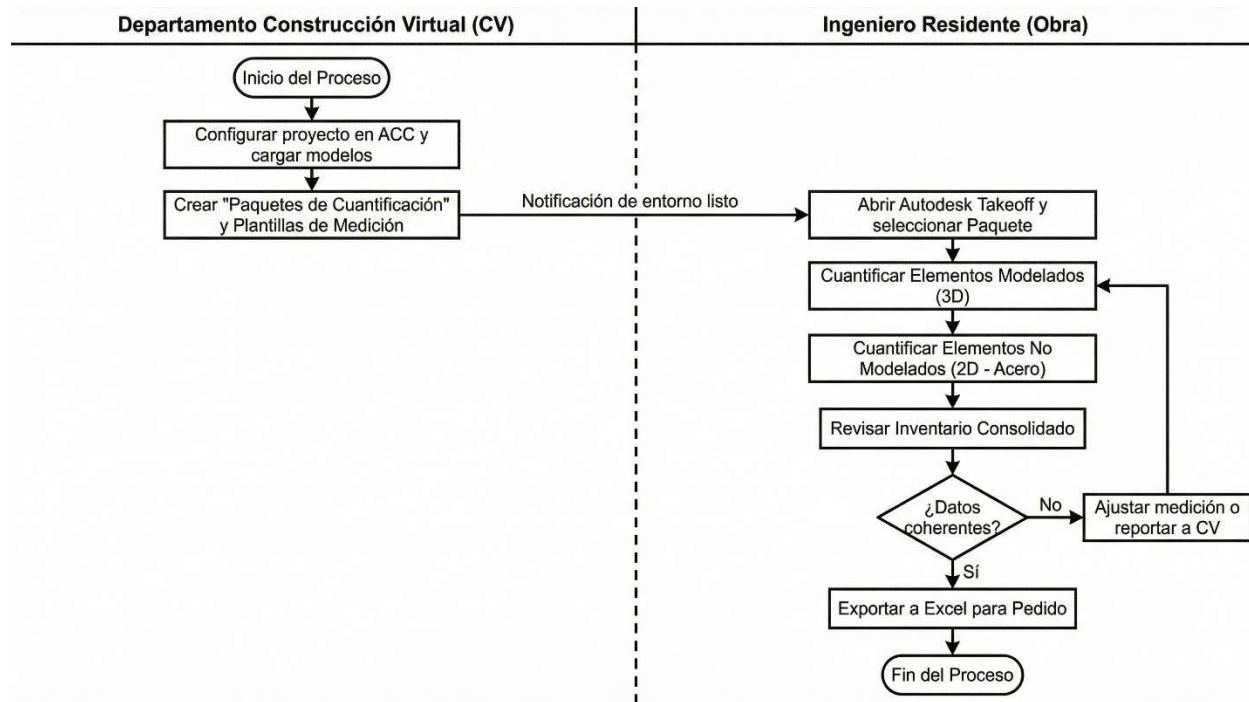
La Tabla 13 ofrece una comparación directa entre el proceso actual ("As-Is") y el flujo de trabajo rediseñado ("To-Be"). Este análisis demuestra explícitamente cómo cada fase del nuevo proceso actúa como una contramedida específica para los "desperdicios" (Muda) identificados en el diagnóstico inicial, proporcionando una justificación clara y basada en la filosofía *Lean Construction* para la implementación de la propuesta de mejora.

**Tabla 13.** Comparativa de flujos de trabajo y mitigación de desperdicios ("As-Is" vs. "To-Be").

| Fase del proceso           | Proceso actual ("As-Is")                                                                                             | "Desperdicio" identificado (Lean)                                                                                          | Proceso propuesto ("To-Be")                                                                                                    | "Desperdicio" eliminado o mitigado                                                                                                                        |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inicio y preparación       | Búsqueda y apertura de múltiples archivos PDF. Verificación manual de la última versión de los planos.               | Movimiento: Búsqueda de información. Defectos: Riesgo de usar planos obsoletos.                                            | Creación de un "Paquete de Cuantificación" en Autodesk Takeoff, accediendo a modelos y planos desde el CDE (Autodesk Docs).    | Se elimina la búsqueda de archivos. Se garantiza el uso de la última versión aprobada, eliminando el riesgo de errores por información obsoleta.          |
| Cuantificación de concreto | Medición manual de dimensiones en planos 2D. Cálculo de volúmenes en hoja de cálculo externa.                        | Sobre-procesamiento: Tarea manual y repetitiva. Defectos: Alto riesgo de errores de cálculo y transcripción.               | Extracción automatizada de volúmenes directamente de las propiedades de los objetos del modelo 3D.                             | Se pretende eliminar del cálculo manual. Se reduce drásticamente el riesgo de error humano, aumentando la precisión.                                      |
| Cuantificación de acero    | Medición manual de longitudes de barras y conteo de unidades en planos 2D. Ingreso de datos en hoja de cálculo.      | Sobre-procesamiento: Tarea tediosa y consumidora de tiempo. Defectos: Alta susceptibilidad a errores de omisión y cálculo. | Medición de longitudes y conteo de unidades con herramientas digitales sobre planos 2D dentro de la misma interfaz de Takeoff. | Se automatiza la suma y organización de datos. Se mejora la precisión y velocidad de la medición.                                                         |
| Verificación               | El maestro de obras realiza una segunda cuantificación manual en campo para contrastar los resultados del ingeniero. | Sobre-procesamiento: Duplicación completa de una tarea como único mecanismo de control de errores.                         | El ingeniero valida las cantidades consolidadas en el "Inventario" unificado de Takeoff, aplicando su juicio de ingeniería.    | Se mitiga la necesidad de una doble cuantificación manual. La validación se convierte en una revisión de datos en lugar de una nueva generación de estos. |

Como síntesis operativa de esta transformación, la Figura 14 presenta el diagrama de flujo integral del proceso propuesto. Esta representación gráfica articula secuencialmente las fases descritas en la Tabla 13, desde la configuración inicial hasta la exportación de datos, consolidando visualmente el nuevo estándar de trabajo para la estimación de materiales.

**Figura 14.** Diagrama de flujo del proceso propuesto para estimación de materiales (Autodesk Takeoff).



### 3.3.7. Diseño de la propuesta para el control del avance de obra

El diseño de la propuesta para el control del avance de obra se enfoca en complementar el flujo de trabajo actual, el cual ha sido identificado como un proceso propenso a la subjetividad. La solución propuesta se deriva de un análisis multicriterio que identificó a Dalux BIM Data Files como la herramienta tecnológica más pragmática y con mejor relación costo-beneficio para Estructuras S.A., obteniendo una puntuación ponderada del 76% (Tabla 12). Esta decisión prioriza la generación de valor inmediato y la optimización de los recursos existentes sobre la adopción de soluciones funcionalmente superiores, pero de un costo prohibitivo, como Autodesk Build.

La propuesta busca mitigar los "desperdicios" (Muda) identificados en el marco de *Lean Construction*, complementando el sistema actual. El proceso vigente, basado en la verificación manual de los reportes de avance de los subcontratistas, genera esperas (ciclos de aprobación lentos), sobre-procesamiento (re-medición de trabajo ya ejecutado) y defectos (discrepancias por la subjetividad del proceso). La propuesta aborda la causa de estos problemas al fomentar el uso de una "única fuente de la verdad" objetiva y visual: el modelo BIM. Al incentivar que los ingenieros registren el avance directamente sobre los elementos del modelo, se busca reducir la asimetría de la información y evolucionar un ciclo de auditoría tradicional hacia un proceso de registro de datos más colaborativo y transparente.

Más allá de la ganancia en eficiencia, esta mejora implica una evolución en el rol del ingeniero residente. En el modelo actual, el ingeniero actúa principalmente como un auditor. La propuesta le proporciona herramientas para actuar como un gestor más proactivo. Al simplificar la tarea de reporte, se libera su tiempo para que pueda enfocarse en actividades de mayor valor añadido, como la supervisión de la calidad en campo y la planificación logística.

El diseño de esta propuesta no es solo una decisión técnica, sino también una estrategia de gestión del cambio. El éxito de la herramienta depende de su adopción por parte del usuario final. Por ello, la propuesta ha sido diseñada bajo un principio de simplicidad para el usuario de campo. La complejidad de la

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

configuración, desde la creación de la estructura de datos hasta la asignación de propiedades y la codificación por colores, es absorbida por el departamento de Construcción Virtual (CV). Al ingeniero residente se le presenta una herramienta intuitiva donde su tarea principal es seleccionar un elemento y cambiar su estado. Esta división del trabajo es clave para asegurar la aceptación de la propuesta, garantizando que la tecnología sea percibida como un facilitador y no como una carga administrativa.

### 3.3.7.1. Arquitectura del flujo de trabajo

La arquitectura de la propuesta se fundamenta en una colaboración coordinada entre el Ingeniero Residente y el departamento de Construcción Virtual (CV), donde cada parte desempeña un rol específico para garantizar que la herramienta se adapte a las necesidades reales de la obra. Este diálogo es un prerequisite para el éxito de la propuesta, transformando el control de avance de una tarea aislada a un proceso integrado.

El Ingeniero Residente, como experto en el desarrollo del campo, es el responsable de definir qué información es relevante desde el punto de vista operativo. Esto implica comunicar al equipo de CV los criterios de control, los elementos clave que necesita registrar y el nivel de detalle requerido para visualizar el progreso de manera efectiva. Por su parte, el departamento de CV actúa como el habilitador tecnológico, traduciendo estas necesidades operativas en una configuración técnica robusta y estandarizada dentro de la plataforma Dalux.

Con base en la retroalimentación del ingeniero, el equipo de CV analiza y propone la mejor manera de representar y administrar la información en el entorno BIM, definiendo aspectos como:

- **La estructura de los archivos de datos BIM**, decidiendo si el avance se controlará por disciplina, por edificio o por nivel.
- **El alcance del filtrado de elementos**, para asegurar que el ingeniero visualice únicamente los componentes relevantes para su tarea.
- **Las propiedades personalizadas** que se incluirán, como el estado de construcción, la fecha de ejecución o el responsable.

Este diálogo inicial permite establecer una estructura coherente antes de iniciar el registro de avances, evitando sobrecargas de información o configuraciones que no aporten valor. De esta manera, el flujo de trabajo no se convierte en una tarea adicional, sino en una herramienta eficiente que potencia la comunicación entre la obra y la oficina técnica.

### 3.3.7.2. Fase de preparación y gobernanza de datos

Esta fase preparatoria, ejecutada por el departamento de Construcción Virtual (CV), es el pilar sobre el que se construye la simplicidad y efectividad de la propuesta para el usuario final. Las acciones descritas, detalladas en el Procedimiento Operativo Estándar (SOP), se realizan una única vez por proyecto y garantizan un entorno de trabajo estandarizado y listo para usar.

1. **Creación de la estructura de datos:** El proceso comienza con la creación de una carpeta dedicada (Control del Avance) y un "Archivo de Datos BIM" dentro de la plataforma Dalux, siguiendo una convención de nomenclatura estandarizada (ej. Control de Avance Pabellón 5 Estructural).
2. **Filtrado estratégico de elementos:** Este es un paso crítico para reducir la complejidad. Utilizando las herramientas de Dalux, el especialista de CV filtra el modelo para mostrar únicamente los elementos que serán objeto de seguimiento. Este filtrado se adapta a las necesidades explícitas del ingeniero residente, pudiendo aislar elementos por categoría (ej. solo fundaciones y columnas), por edificio o incluso por parámetros específicos como la altura. El objetivo es presentar al ingeniero un

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

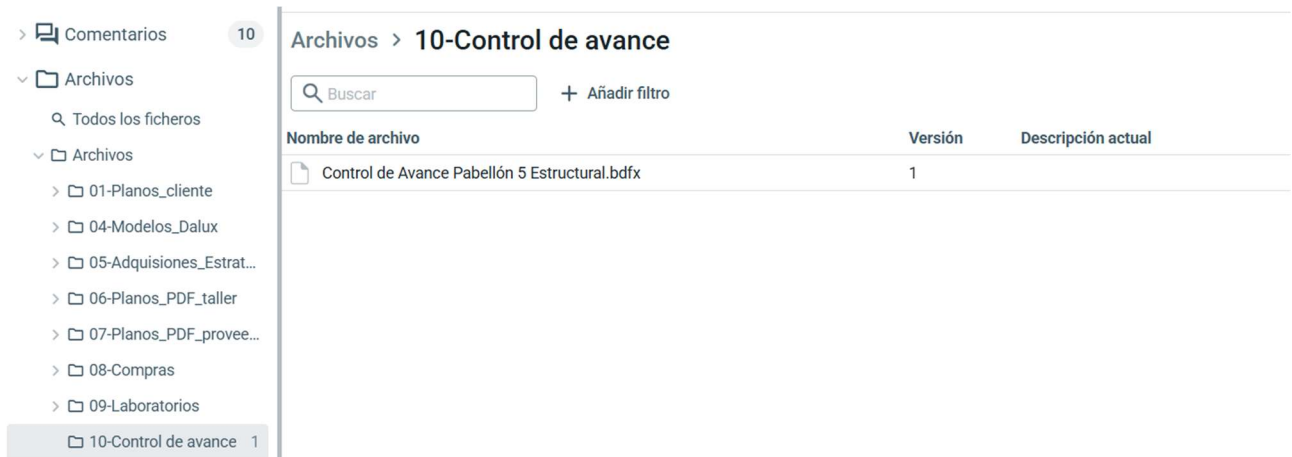
visor 3D limpio y enfocado en su tarea, evitando que deba navegar por un modelo completo y complejo.

- 3. **Definición del esquema de propiedades:** El CV define las propiedades personalizadas que el ingeniero utilizará para registrar el avance. El esquema estándar incluye propiedades como "Estado de construcción" (configurada como una lista desplegable con valores como 0%, 50%, 100%) y "Fecha Ejecución". Este paso es fundamental, ya que, una vez guardado el archivo, el esquema de propiedades no puede ser modificado.
- 4. **Configuración de la visualización por colores:** Finalmente, el CV configura las reglas de visualización en el módulo "Ubicaciones y Colores" de Dalux. Se crea un conjunto de reglas que asigna un color específico a cada valor de la propiedad "Estado de construcción" (ej. 100% = Verde, 50% = Amarillo). Esto asegura que, una vez que el ingeniero publique sus cambios, el modelo se coloreará automáticamente, proporcionando una retroalimentación visual inmediata del estado del proyecto.

Al completar estos pasos, el CV ha transformado un modelo de diseño complejo en una herramienta de gestión de campo simple e intuitiva, lista para ser utilizada por el Ingeniero Residente.

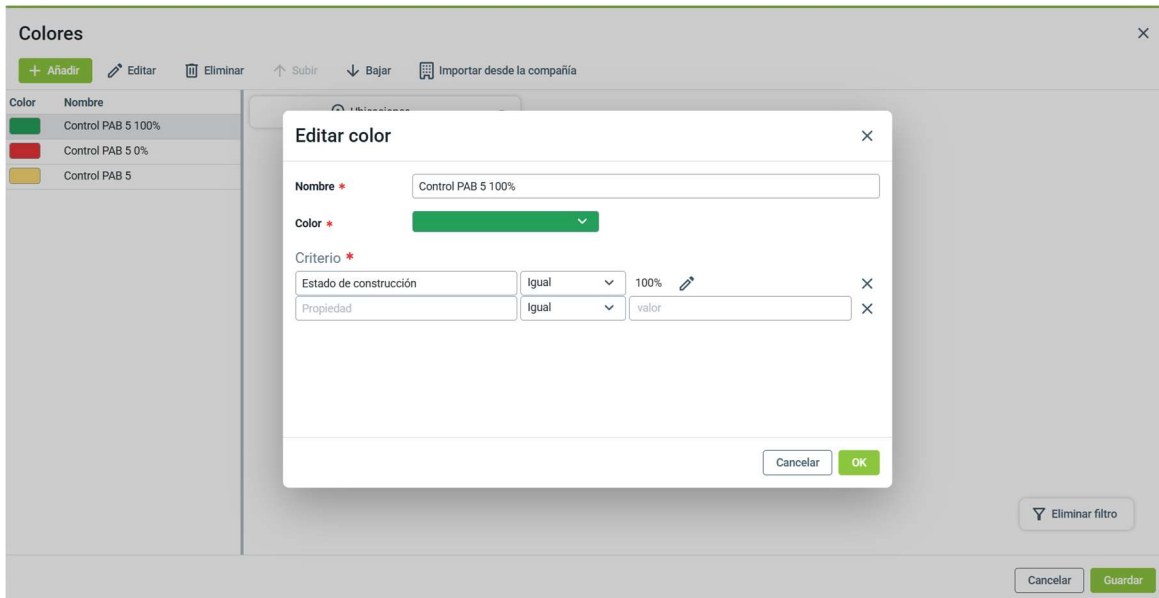
En las Figuras 15 y 16 se muestra la ubicación del archivo de datos BIM dentro de la interfaz de Dalux y la creación de las reglas de colores dentro de Dalux respectivamente y la Figura 17 muestra la portada del Procedimiento Operativo Estándar (SOP).

Figura 15. Creación de Archivos de Datos BIM.



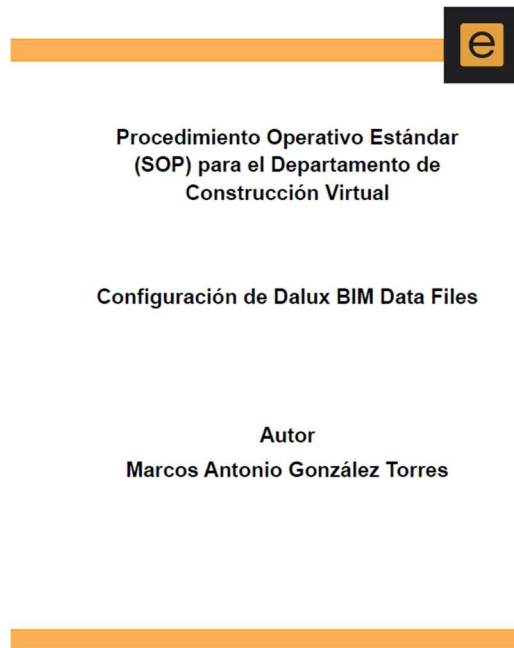
Fuente. Captura de pantalla realizada en Dalux (2025)

**Figura 16.** Creación de reglas para colores dentro de Dalux.



Fuente. Captura de pantalla realizada en Dalux (2025)

**Figura 17.** Portada del Procedimiento Operativo Estándar (SOP) para la configuración de Dalux.

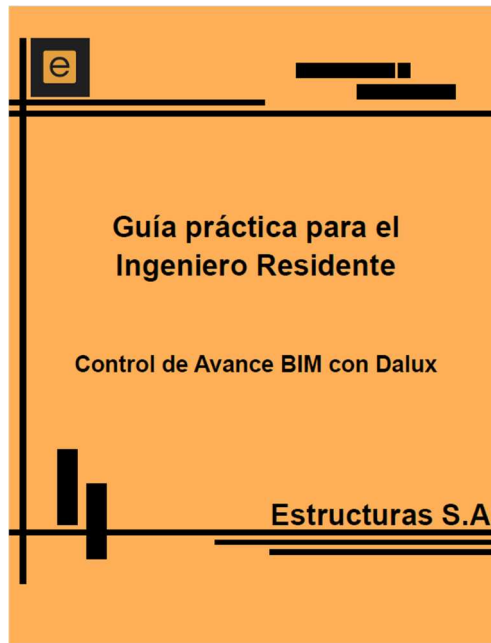


### 3.3.7.3. Fase de ejecución y validación

Esta fase describe el ciclo de trabajo del Ingeniero Residente en la obra, un proceso diseñado para ser rápido, intuitivo y centrado en la tarea, tal como se detalla en la "Guía práctica para el Ingeniero Residente" (Figura 18).

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

**Figura 18.** Guía práctica para el ingeniero residente: control de avance con Dalux.



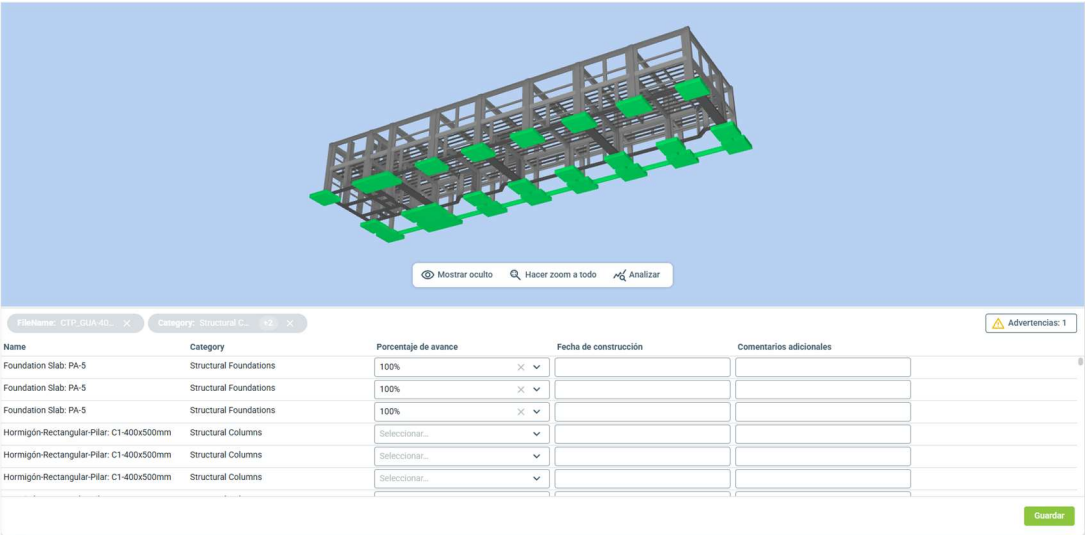
### **Asignación de estado y publicación de datos**

El núcleo del nuevo flujo de trabajo se realiza desde un ordenador (PC o laptop) para garantizar la precisión en la selección de elementos. El ingeniero accede al "Archivo de Datos BIM" preparado por el CV, donde visualiza el modelo 3D ya filtrado. El proceso es el siguiente:

1. **Seleccionar el elemento:** El ingeniero hace clic en un componente en el visor 3D (ej. una viga).
2. **Asignar estado:** En el panel inferior, localiza la columna "Estado de construcción" y selecciona el valor correspondiente de la lista desplegable (ej. 100%).
3. **Guardar y Publicar:** Una vez actualizados todos los elementos necesarios, realiza dos acciones críticas: primero, guarda los cambios en el archivo y, segundo, lo publica. Este último paso es fundamental, ya que es la acción que actualiza la información para todo el equipo y activa la visualización por colores en el visor principal de Dalux.

Este entorno de operación se detalla en la Figura 19, la cual presenta la interfaz de usuario dentro del "Archivo de Datos BIM". En la imagen se puede apreciar la disposición simultánea del visor 3D y el panel de propiedades, permitiendo visualizar claramente dónde se localizan los controles para la selección de estado y la publicación de cambios.

Figura 19. Asignación de propiedades en Dalux.



Fuente. Captura de pantalla realizada en Dalux (2025)

Verificación visual y uso en reuniones

Una vez publicados los datos, el ingeniero puede utilizar cualquier dispositivo (móvil u ordenador) para acceder al visor de modelos 3D en la sección "Ubicaciones" de Dalux. El modelo aparecerá coloreado según el estado de cada elemento, proporcionando un mapa visual e inmediato del progreso del proyecto.

Este modelo coloreado se convierte en la herramienta central para las reuniones de validación de pagos. En lugar de debatir sobre porcentajes abstractos en una hoja de cálculo, el ingeniero y el subcontratista navegan juntos por el modelo 3D, que sirve como una base objetiva e irrefutable para acordar el alcance del trabajo ejecutado.

Gestión de discrepancias y retroalimentación

La propuesta también funciona como un mecanismo de control de calidad para el propio modelo digital. Si durante la construcción el ingeniero detecta que un elemento se construyó de forma diferente a como está modelado, o si falta un componente, puede reportarlo directamente desde la aplicación. Creando un comentario, asignándola al responsable de CV y describiendo la discrepancia, inicia un ciclo de retroalimentación que no solo resuelve un problema puntual, sino que contribuye a mejorar la fiabilidad del modelo de información del proyecto a lo largo del tiempo.

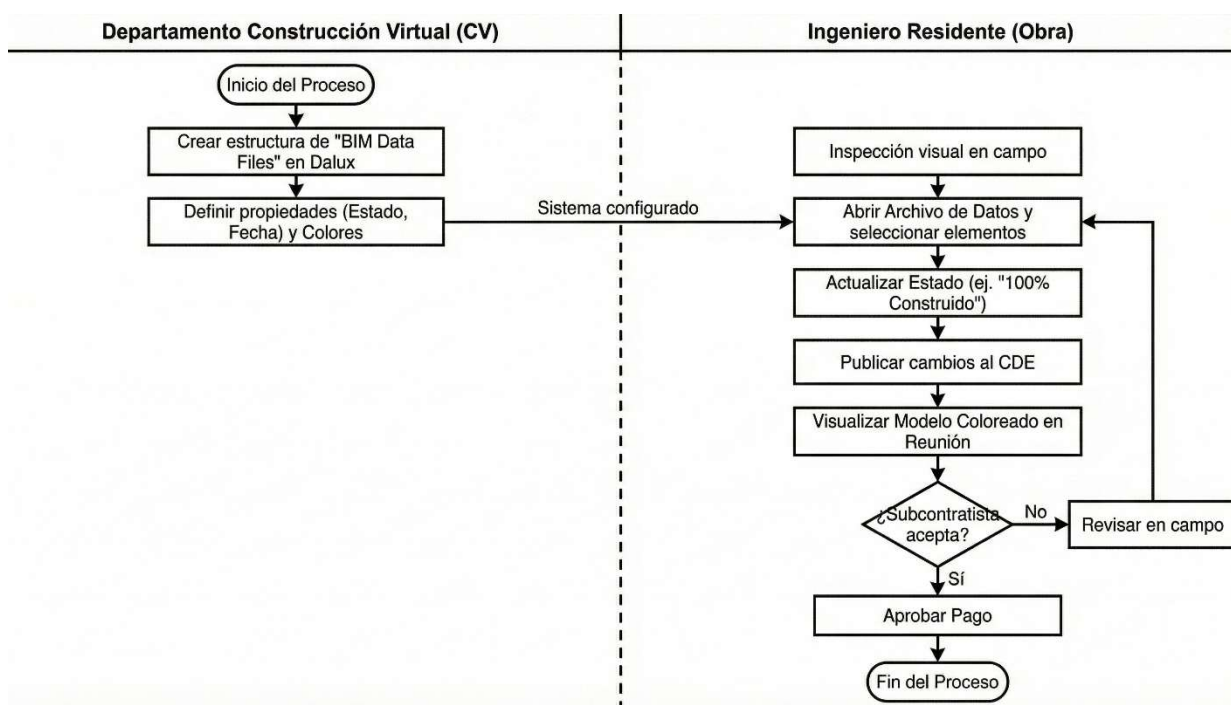
La Tabla 14 ofrece una comparación directa entre el proceso actual ("As-Is") y el flujo de trabajo rediseñado ("To-Be"), demostrando cómo la propuesta actúa como una contramedida específica para los "desperdicios" (Muda) identificados en el diagnóstico.

**Tabla 14.** Comparativa de flujos de trabajo y mitigación de desperdicios para el control de avance ("As-Is" vs. "To-Be").

| Fase del proceso         | Proceso actual ("As-Is")                                                                                       | "Desperdicio" identificado (Lean)                                                                                                 | Proceso propuesto ("To-Be")                                                                                                                                                                                                                                            | "Desperdicio" eliminado o mitigado                                                                                                       |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inicio del ciclo de pago | El ingeniero espera el reporte de avance del subcontratista para iniciar la verificación.                      | Espera: Flujo de trabajo reactivo que depende de un tercero para iniciar.                                                         | El ingeniero registra el avance de forma continua en el modelo BIM como parte de su rutina de supervisión.                                                                                                                                                             | Se elimina la espera inicial. El registro de avance se convierte en un proceso proactivo y continuo, controlado internamente.            |
| Verificación del avance  | El ingeniero debe re-medir y verificar manualmente en campo el trabajo reportado por cada subcontratista.      | Sobre-procesamiento: Duplicación de tareas de medición y verificación. Movimiento: Desplazamiento para validar múltiples frentes. | El ingeniero realiza una verificación visual rápida en campo y actualiza el estado del elemento en el modelo con un clic.                                                                                                                                              | Se elimina la necesidad de re-medir. La verificación se simplifica a una inspección visual y un registro digital instantáneo.            |
| Validación y aprobación  | Negociaciones basadas en porcentajes subjetivos en tablas de pago, generando disputas y retrasos.              | Defectos: La subjetividad del proceso genera discrepancias que requieren retrabajo administrativo y negociaciones.                | La validación se realiza en una reunión donde ambas partes revisan el modelo 3D coloreado, que actúa como registro objetivo y compartido. El avance se registra directamente sobre los elementos del modelo BIM, creando un registro digital, centralizado y trazable. | Se elimina la subjetividad. El modelo se convierte en la "única fuente de la verdad", reduciendo disputas y agilizando la aprobación.    |
| Registro de información  | La información del avance reside en documentos aislados (hojas de cálculo, correos), generando silos de datos. | Defectos: Fragmentación de la información, riesgo de usar datos desactualizados y falta de trazabilidad.                          |                                                                                                                                                                                                                                                                        | Se crea un registro único y fiable. Se mejora la trazabilidad y la comunicación, asegurando que todos trabajen con la misma información. |

Como síntesis de esta reingeniería de procesos, la Figura 20 sistematiza el flujo de trabajo propuesto en un diagrama secuencial. Esta representación gráfica articula cómo las actividades de inspección visual en campo se traducen inmediatamente en datos estructurados dentro de Dalux, cerrando la brecha entre la realidad física y el modelo digital.

**Figura 20.** Diagrama de flujo del proceso propuesto para control de avance (Dalux BIM Data).



### 3.3.8. Documentación de la propuesta

Como parte fundamental del cumplimiento del objetivo específico 3, se elaboró la documentación de soporte necesaria para asegurar la correcta implementación, adopción y sostenibilidad de la propuesta. Estos documentos traducen los flujos de trabajo "To-Be" en instrucciones claras, diferenciadas por rol, y funcionan como herramientas de capacitación y consulta permanente.

La documentación se compone de los siguientes entregables:

- **Procedimiento Operativo Estándar (SOP) para la estimación de materiales:** Dirigido al departamento de Construcción Virtual (CV), este documento estandariza la configuración de proyectos en Autodesk Takeoff, asegurando que el entorno de cuantificación se prepare de manera consistente y eficiente para el ingeniero residente.
- **Guía práctica para el ingeniero residente - estimación de materiales:** Este manual de usuario se enfoca en el flujo de trabajo del ingeniero en campo, explicando paso a paso cómo utilizar Autodesk Takeoff para realizar la cuantificación híbrida 2D/3D, validar los datos y exportar el inventario.
- **Procedimiento Operativo Estándar (SOP) para el control del avance de Obra:** Dirigido al departamento de CV, este documento detalla la configuración de la herramienta Dalux BIM Data Files, desde la creación de la estructura hasta el filtrado de elementos y la definición de propiedades personalizadas.
- **Guía práctica para el Ingeniero Residente - control de avance con Dalux:** Este manual explica al ingeniero residente cómo asignar los estados de avance en la plataforma, publicar la información y utilizar el modelo coloreado como herramienta de validación en reuniones, además de cómo reportar discrepancias.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

El contenido íntegro de estos cuatro documentos se encuentra disponible en los Apéndices P, Q, R y S de este trabajo, respectivamente.

### **3.3.9. Integración operativa: Adaptación y enriquecimiento de los procesos actuales**

Para asegurar que la propuesta tecnológica se convierta en una mejora operativa real, los cuatro instrumentos normativos desarrollados cumplen una función directa en la adaptación y fortalecimiento de los procesos vigentes.

#### **Estimación de materiales**

**El SOP de configuración (Construcción Virtual):** En el proceso actual, la preparación de la información para la cuantificación se realiza de forma dispersa, sin reglas claras sobre los parámetros que deben cumplir los modelos para ser medibles. Con la implementación del SOP de configuración, este escenario se modifica mediante la estandarización de la gobernanza de datos, obligando a la creación de plantillas de medición predefinidas antes de que el proyecto llegue a la obra. Como resultado, el modelo 3D deja de ser un simple elemento visual y se transforma en una base de datos estructurada, lo que elimina la improvisación y asegura que, cuando el ingeniero residente abra el archivo, el entorno esté completamente listo para trabajar, reduciendo su carga cognitiva.

**La Guía de usuario (Ingeniero Residente):** Actualmente, el ingeniero residente depende en gran medida de su memoria y de métodos manuales como el escalímetro y las hojas de cálculo para realizar la cuantificación, lo cual genera variabilidad en los resultados y aumenta la probabilidad de errores asociados a defectos. La guía de usuario modifica este proceso al sustituir el cálculo manual por la extracción directa de datos desde el modelo, formalizando el uso del flujo híbrido al instruir paso a paso cómo medir acero en 2D y concreto en 3D dentro de una misma sesión de trabajo. Este cambio dota al ingeniero de mayor autonomía técnica y velocidad operativa, y además vuelve el proceso repetible y auditable, permitiendo que distintos ingenieros obtengan los mismos resultados y eliminando la dependencia del “arte” individual.  
Impacto en la Fase de Control de Avance (Dalux)

#### **Control de avance de obra**

**El SOP de configuración (Construcción Virtual):** En la situación actual, no existe una preparación previa estructurada para el control de avance, ya que la información se genera de forma reactiva y desordenada al momento del corte de pago. Con la aplicación del SOP de configuración, este esquema se transforma mediante la creación anticipada de los archivos de datos BIM y la definición de reglas de color, estableciendo desde antes de iniciar la obra qué se va a controlar y cómo se va a visualizar. Este cambio da origen a una infraestructura digital de control que asegura que todos los proyectos de la empresa utilicen un mismo lenguaje visual, permitiendo a la gerencia comparar el rendimiento entre distintos proyectos.

**La Guía de usuario (Ingeniero Residente):** En el proceso actual, el control del avance se fundamenta principalmente en la validación subjetiva de los reportes del subcontratista, muchas veces sin evidencia trazable inmediata. La guía de usuario modifica esta dinámica al introducir el hábito del registro in situ mediante el uso de la tableta, donde el ingeniero marca visualmente el avance directamente sobre el modelo. Este cambio aporta objetividad y trazabilidad al proceso, ya que la supervisión deja de ser solo una revisión y se convierte en un acto de generación de datos, enriqueciendo el control con un historial digital inalterable que respalda tanto la aprobación de pagos como futuros análisis técnicos o forenses.

**Síntesis de la transformación:** En conjunto, estos cuatro documentos actúan como la propuesta operativa. Mientras los SOP de oficina aseguran la calidad de la entrada (el "Input" del sistema), las Guías de campo estandarizan la ejecución (el "Throughput"). Esta estructura documental "blinda" el proceso contra

la variabilidad humana, asegurando que la eficiencia ganada con BIM sea sostenible en el tiempo y no dependa exclusivamente de la iniciativa individual de los usuarios.

### 3.3.10. Cierre del diseño: Validación de la propuesta y estrategia de adopción

El diseño de la propuesta no responde a una simple digitalización de tareas existentes, sino a una solución estructurada orientada a corregir debilidades operativas críticas. En este cierre de capítulo se valida cómo la configuración final satisface los criterios de evaluación.

#### Validación de la solución de estimación de materiales (Autodesk Takeoff)

La selección y estructuración del flujo de trabajo con Autodesk Takeoff se fundamenta en el criterio de capacidad para flujo híbrido 2D/3D. Al permitir la medición del acero desde planos 2D y del concreto desde modelos 3D dentro de una misma plataforma, la propuesta elimina la “cuantificación manual fragmentada”. Con ello se reduce el sobre-procesamiento asociado a cálculos manuales, se disminuye el riesgo de error y se asegura la integración con el ecosistema tecnológico existente, ya que la herramienta opera directamente sobre el CDE actual de la empresa.

#### Validación de la solución de control (Dalux BIM Data)

La propuesta de control visual mediante Dalux responde directamente a los criterios de usabilidad en campo y costo total. La utilización de metadatos y filtros de color mediante BIM Data, en lugar de módulos complejos de pago, permite respetar las limitaciones económicas de la empresa sin comprometer el objetivo funcional de eliminar la subjetividad en el control. De esta forma, se sustituye la validación basada en la opinión del subcontratista por información visual objetiva, cerrando la brecha de *asimetría de información* y reduciendo desperdicios asociados a esperas y errores administrativos.

#### Estrategia de adopción de los manuales (Gestión del cambio)

Para garantizar que la documentación técnica desarrollada trascienda el papel y se integre de forma efectiva en la cultura operativa de la empresa, se establece la siguiente estrategia de implementación:

- **Digitalización en el punto de uso:** Los manuales se incorporarán como documentos de referencia dentro de Dalux y Autodesk Construction Cloud, asegurando su disponibilidad directa en dispositivos móviles en el momento exacto de la ejecución en obra.
- **Capacitación aplicada (*learning by doing*):** La transferencia de conocimiento se realizará mediante acompañamiento en campo durante el proyecto piloto, donde el Departamento de Construcción Virtual instruirá al ingeniero residente utilizando casos reales.
- **Ciclo de vida del documento:** Los manuales se establecen como documentos vivos. Posterior a la validación piloto se ajustarán según la dinámica real de obra, evitando que se conviertan en procedimientos rígidos sin aplicación práctica.

#### Definición integral de la propuesta diseñada

En respuesta directa al objetivo general de esta investigación, la "Propuesta de integración" diseñada al cierre de este capítulo no debe entenderse únicamente como la adquisición de licencias de software (Autodesk Takeoff y Dalux). Se define conceptualmente como un **marco tecno-operativo integrado** compuesto por tres capas interdependientes:

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

1. **Capa Tecnológica:** Herramientas digitales (Takeoff y Dalux) configuradas para cerrar brechas de información.
2. **Capa Normativa:** Procedimientos (SOP) y Guías que estandarizan el flujo de datos y eliminan la variabilidad.
3. **Capa Humana:** Un nuevo perfil operativo para el ingeniero residente, quien evoluciona de un rol reactivo a uno de gestión digital proactiva. Esta estructura constituye a la "Propuesta", diseñado específicamente para resolver la desconexión entre la oficina y la obra en Estructuras S.A.

Con los flujos de trabajo diseñados y los instrumentos documentales listos, es una propuesta teórica técnicamente viable. Sin embargo, la verdadera eficacia de un diseño no se prueba en el papel, sino en el terreno. Por consiguiente, para dar cumplimiento al cuarto objetivo específico, es imperativo someter esta propuesta a las condiciones reales y fricciones de un entorno constructivo vivo. El siguiente capítulo detalla la implementación de este diseño en el proyecto piloto "CTP de Guatuso", donde se evaluará su desempeño empírico y su capacidad real para transformar la gestión del ingeniero residente.

### 3.4. Desarrollo del objetivo específico 4

Esta sección final del capítulo de resultados documenta la ejecución del cuarto objetivo específico: la implementación y validación de la propuesta diseñada. Es fundamental enmarcar esta fase bajo el concepto de validación metodológica. El propósito de la implementación controlada en el proyecto piloto, Pabellón 5 del CTP Guatuso, no fue medir el grado de adopción masiva, sino utilizar un entorno de obra real para validar la viabilidad técnica de las herramientas seleccionadas y, de manera crucial, identificar y diagnosticar con precisión las barreras y facilitadores que influirán en un futuro despliegue a escala en Estructuras S.A.

Este objetivo culmina con la generación de un reporte de retroalimentación integral. Para efectos de lectura y análisis, este reporte no se presenta como un anexo aislado, sino que se ha estructurado en el cuerpo de este capítulo a través de tres componentes complementarios: la evaluación técnica cualitativa (Secciones 3.4.2 y 3.4.3), el análisis cuantitativo de eficiencia (Sección 3.4.4) y la síntesis estratégica de lecciones aprendidas (Sección 3.4.5).

El éxito de este objetivo, por lo tanto, no se define por el porcentaje de uso de las plataformas, sino por la calidad y profundidad de la realimentación obtenida y la capacidad de la investigación para identificar los obstáculos del mundo real. Como se detallará, los hallazgos relacionados con las barreras humanas, la gobernanza de los procesos y las limitaciones de usabilidad de la tecnología constituyen el "trabajo de fondo" y el resultado más valioso de este Trabajo Final de Graduación. Estos hallazgos transforman los obstáculos encontrados en un plan de acción estratégico (formalizado en las Tablas 15 y 16) y un repositorio de lecciones aprendidas para la empresa (sintetizado en la Sección 3.4.5).

El proyecto piloto seleccionado para esta validación fue el Pabellón 5 del proyecto CTP Guatuso. Esta elección se basó en que era el edificio que presentaba un mayor grado de avance en el momento del estudio (tercera semana de octubre de 2025), ofreciendo un escenario realista para la aplicación de los flujos de trabajo de control de obra.

Para contextualizar el entorno físico de la validación, la Figura 21 ofrece una vista general del proyecto, mientras que la Figura 22 detalla el pabellón específico.

**Figura 21. Proyecto CTP Guatuso.**



Fuente: Director del departamento Antony Vázquez Flores, Estructuras S.A.

**Figura 22. Pabellón 5 CTP Guatuso.**



Fuente: Director del departamento Antony Vázquez Flores, Estructuras S.A.

La implementación se concentró en los dos flujos de trabajo críticos definidos en los objetivos anteriores, los cuales representan puntos de fricción para el ingeniero residente:

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

1. Estimación de materiales: Se implementó el flujo de trabajo diseñado utilizando la plataforma Autodesk Takeoff. Para este fin, se gestionó una licencia de prueba gratuita de 30 días del software, permitiendo el acceso completo a sus funcionalidades durante el período de validación.
2. Control del avance de obra: Se implementó el flujo de trabajo utilizando la herramienta Dalux BIM Data Files. Esta herramienta ya formaba parte del ecosistema tecnológico de Estructuras S.A. y estaba disponible para su uso, lo que permitió un análisis técnico más profundo de sus capacidades y limitaciones en el contexto operativo de la empresa.

El análisis de esta fase se enfoca no solo en lo que las herramientas pueden hacer, sino, de manera más crítica, en por qué su adopción no fue intensiva. Las barreras contextuales, humanas y de procesos, así como las limitaciones técnicas específicas descubiertas durante la implementación, constituyen los hallazgos más valiosos de esta investigación. Estos hallazgos permiten generar un reporte de realimentación y un plan de implementación ajustado a la realidad operativa de Estructuras S.A., proporcionando un diagnóstico que trasciende la simple evaluación de un software.

### **3.4.1. Contexto, alcance y barreras contextuales de la implementación**

El plan de implementación consistió en la preparación de los manuales de usuario y Procedimientos Operativos Estándar (SOP), seguido de sesiones de capacitación y acompañamiento con los ingenieros residentes en el proyecto CTP Guatuso. Sin embargo, el inicio de la implementación coincidió con un conjunto de barreras contextuales y humanas que, como predice el marco teórico sobre la adopción de tecnología en la construcción, demostraron ser más significativas que cualquier limitación técnica del software.

#### **3.4.1.1. Barreras contextuales y humanas**

Lejos de representar una falla en la implementación del piloto, las barreras humanas y contextuales identificadas durante esta etapa constituyen uno de los hallazgos más significativos del presente trabajo. Revelan que la adopción de tecnologías BIM en la fase de ejecución no es, en esencia, un problema tecnológico, sino un desafío de gestión del cambio y optimización de procesos, plenamente analizable bajo el marco de *Lean Construction*.

El análisis de la implementación demostró que los principales impedimentos para una adopción intensiva de las herramientas fueron organizativos y de gestión de prioridades, no técnicos. Este resultado valida que el éxito de la digitalización depende de las capacidades del software y de la madurez de los procesos y de la estructura de trabajo donde este se inserta.

#### **Transición de personal crítico en la obra**

El factor más disruptivo fue la coincidencia de la fase de implementación con un cambio de personal clave en el proyecto. El período de implementación (iniciando la cuarta semana de octubre) se superpuso con las últimas dos semanas del ingeniero residente, Jimmy Madriz, quien debía dejar el proyecto el 29 de octubre.

El impacto de esta transición fue doble y generó un vacío de liderazgo en la adopción:

**Prioridades del ingeniero saliente (Ing. Madriz):** Su enfoque estaba en cerrar los pendientes del proyecto, no en incorporar una nueva metodología o herramienta. La carga cognitiva y el tiempo que requería adoptar una herramienta digital eran incompatibles con su urgencia operativa, validando lo expuesto en *Lean Construction* sobre la presencia de desperdicios (Muda) que saturan el flujo de trabajo.

**Contexto del ingeniero entrante (Ing. Edwin Hernández):** Se incorporó el 21 de octubre, coincidiendo con la salida de Madriz, enfrentando simultáneamente una curva de aprendizaje pronunciada y la gestión de otros proyectos en curso. Esta transición dejó al proyecto sin un referente operativo capaz de

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

liderar el cambio tecnológico, evidenciando que el sistema actual depende excesivamente de personas y no de procesos estandarizados.

### **La primacía de las prioridades operativas**

La segunda barrera, íntimamente ligada a la anterior, fue la fricción entre el tiempo necesario para capacitarse y las demandas inmediatas de obra. Los ingenieros residentes manifestaron que sus tareas diarias no les permitían involucrarse con profundidad en el uso de las herramientas.

Los ingenieros residentes están tan saturados por las diferentes actividades propias de su cargo que presentan problemas de disponibilidad para participar en actividades de mejora (Kaizen).

En este contexto, el ingeniero residente, “inmerso en una etapa de transición y concentrado en las demandas operativas del día a día”, no implementa intensivamente la herramienta por resistencia al cambio, sino porque las condiciones y el ritmo cotidiano de la obra le impiden disponer del tiempo necesario para explorar, aprender y aplicar adecuadamente una nueva forma de trabajo.

### **Reformulación de los resultados del proyecto piloto**

Ante esta realidad contextual, el objetivo del piloto se reorientó. En lugar de forzar una adopción intensiva, el enfoque se trasladó a obtener una realimentación cualitativa de alto valor por parte de los ingenieros y a realizar un análisis técnico profundo de las herramientas.

Por lo tanto, la implementación del objetivo 4 fue exitosa, no porque haya logrado una adopción generalizada, sino porque cumplió su objetivo metodológico al validar dos hipótesis críticas para Estructuras S.A.:

1. La propuesta es funcional a nivel técnico y adecuadas a los procesos mapeados, pero las herramientas seleccionadas (Takeoff y Dalux) poseen limitaciones específicas que deben ser gestionadas para su implementación intensiva.
2. Las barreras para la implementación en la empresa son fundamentalmente humanas, contextuales y de proceso (gestión del cambio, prioridades de obra, calidad de los datos de origen) y superan con creces los desafíos técnicos del software.

### **Interpretación bajo el modelo Lean-BIM**

Este hallazgo valida la sinergia teórica entre BIM y *Lean Construction* (Sección 1.5.1.3). La tecnología —BIM— no puede adoptarse con éxito si no se utiliza simultáneamente para rediseñar el proceso —*Lean*— y eliminar los desperdicios que obstaculizan el flujo de trabajo.

La percepción de las herramientas digitales como una “carga adicional” no se debe a su complejidad técnica, sino a que fueron introducidas en un entorno operativo que no ha sido transformado para recibirlas. En consecuencia, la implementación no debe interpretarse como un fracaso, sino como una validación empírica del diagnóstico central del proyecto

En síntesis, las barreras humanas y contextuales identificadas no representan un obstáculo aislado, sino un reflejo del entorno operativo en el que se pretende introducir la digitalización. Este diagnóstico establece el punto de partida para comprender que cualquier herramienta tecnológica —por avanzada que sea— debe adaptarse a las condiciones reales del flujo de trabajo en obra. A partir de este entendimiento, el siguiente apartado profundiza en el análisis técnico de las herramientas implementadas, iniciando con Autodesk Takeoff, cuya evaluación permite examinar de manera puntual las oportunidades y limitaciones que emergen al trasladar los procesos tradicionales de cuantificación hacia un entorno digital basado en modelos BIM.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

### 3.4.2. Reporte de realimentación: Estimación de materiales (Autodesk Takeoff)

El análisis de la herramienta Autodesk Takeoff se reorientó desde una implementación completa hacia sesiones de validación cualitativa, debido a la transición de personal en el proyecto piloto. Durante la primera etapa, se trabajó principalmente con el ingeniero residente Jimmy Madriz, mediante un total de tres sesiones breves (de aproximadamente treinta a cuarenta minutos cada una), orientadas a presentar el propósito del trabajo, explicar el manual y explorar de manera práctica las funcionalidades. Aunque el proceso coincidió con la salida del ingeniero y la llegada de un nuevo responsable, lo que impidió su aplicación operativa en campo, las sesiones resultaron productivas. Por esta razón, el grado de adopción no se midió en un porcentaje de uso, sino que se alcanzó un entendimiento conceptual y técnico de la herramienta por parte del profesional.

En estas actividades se analizó la interfaz y las distintas opciones de cuantificación, tanto en modelos 3D como en planos 2D, demostrando cómo el usuario podía extraer áreas, volúmenes o unidades de los elementos del modelo. El ingeniero residente destacó el valor de esta función para estimar volúmenes de concreto, áreas de trabajo y unidades de materiales, considerándola especialmente útil para la negociación con proveedores y la planificación de frentes de obra. Asimismo, se reconoció la posibilidad de aprovechar la herramienta para estimaciones rápidas o aproximaciones, sin depender necesariamente del departamento de Construcción Virtual.

Estas sesiones también sirvieron para discutir posibles extensiones del uso de la herramienta, como la creación de tipos de medición personalizados mediante fórmulas sencillas que faciliten cálculos específicos, por ejemplo, el número de aros o unidades de acero. La realimentación obtenida permitió identificar un caso de uso estratégico de alto valor para la empresa, enfocado en la agilización de la estimación de materiales y el fortalecimiento de la autonomía técnica de los ingenieros residentes. Además, el proceso reveló aspectos críticos del entorno organizacional, como la necesidad de capacitaciones continuas, repositorios de casos de uso y mecanismos de seguimiento que aseguren la consolidación del aprendizaje.

#### 3.4.2.1. Observaciones técnicas de la herramienta

Durante las sesiones de validación y capacitación, y a pesar de la alta carga operativa del proyecto, se identificó un potencial de alto valor en la herramienta Autodesk Takeoff, aunque no exactamente para el propósito inicialmente previsto. Si bien el ingeniero residente manifestó una cautela razonable respecto a su uso en cuantificaciones globales del proyecto, reconoció su utilidad inmediata para apoyar actividades operativas del día a día. Entre ellas destacó la extracción rápida de cantidades para verificar volúmenes, preparar pedidos de materiales o comparar mediciones específicas entre modelos y planos, así como su alto potencial para la cuantificación de órdenes de cambio.

En este sentido, la herramienta se posiciona como un recurso de apoyo flexible para el residente de obra, orientado a tareas de análisis, verificación y control puntual, más que como un instrumento de estimación económica.

Desde el punto de vista técnico, la limitación más significativa observada fue su dependencia absoluta de un modelo de información (BIM) correctamente estructurado. Autodesk Takeoff no interpreta ni corrige errores del diseño; simplemente extrae los datos que existen en las propiedades del modelo. Durante la validación, se constató que cuando los modelos carecen de información precisa y consistente —como el volumen, los materiales o las categorías asignadas—, la extracción de cantidades se vuelve inexacta o incluso imposible. Este hallazgo reafirma el principio “*Garbage In, Garbage Out*” (“basura entra, basura sale”), ya que la confiabilidad de la herramienta depende totalmente de la calidad de la información de entrada. Conceptualmente, esto constituye una validación práctica del Nivel de Desarrollo (LOD): si el modelo no

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

alcanza el nivel de detalle adecuado o no sigue los estándares definidos por la empresa, la herramienta pierde efectividad para la obtención de datos útiles en obra.

El ingeniero Jimmy Madriz enfatizó esta limitación al señalar que, si un volumen es absorbido por otro elemento del modelo, las cantidades extraídas pueden verse distorsionadas, afectando la precisión en pedidos o verificaciones de concreto. Este tipo de observaciones no refleja resistencia al cambio, sino un juicio técnico fundamentado. Para el ingeniero, un modelo visualmente correcto no siempre garantiza la fiabilidad de los datos asociados, por lo que la empresa Estructuras S.A. mantiene una postura prudente: los modelos son herramientas de apoyo, pero la referencia principal sigue siendo los planos 2D y la experiencia de campo.

Esta cautela no implica desconfianza tecnológica, sino la comprensión de que el modelo debe madurar estructuralmente antes de convertirse en la fuente principal para decisiones de obra. De esta manera, la implementación efectiva de Takeoff no puede iniciarse directamente en la fase de ejecución, sino que requiere un trabajo previo de estandarización durante la preconstrucción. Los modelos deben entregarse con un LOD claramente definido y verificable, alineado con el propósito de cuantificación, garantizando que la información sea confiable y útil para quienes la aplican en campo. Si bien la empresa ya solicita LODs específicos a sus subcontratistas, se recomienda fortalecer los mecanismos de revisión y cumplimiento. Sin este control, la herramienta —por más potente que sea— carece de aplicabilidad práctica en obra.

Durante las sesiones también surgieron preocupaciones sobre la sincronización y actualización de modelos. Los ingenieros señalaron que, en ocasiones, los modelos utilizados no reflejaban la versión más reciente del proyecto, lo que genera latencia informativa y desconexión con el principio de la única fuente de verdad (*Single Source of Truth – SSOT*). Si los modelos no se actualizan con regularidad, la utilidad de la herramienta para la toma de decisiones operativas disminuye considerablemente. Por tanto, su eficacia depende tanto de la calidad del modelado como de la disciplina del equipo para mantener los archivos actualizados.

Otro aspecto relevante fue la fricción en el manejo de flujos híbridos 2D – 3D. Aunque la herramienta permite combinar ambos tipos de archivos, el uso simultáneo puede resultar confuso, especialmente al intentar relacionar mediciones bidimensionales —como cuantificaciones de acero— con los objetos tridimensionales correspondientes, como vigas o columnas. Este tipo de operaciones requiere un periodo de familiarización y capacitaciones específicas que faciliten la interpretación correcta de los datos y reduzcan el margen de error. Además, se observó que la falta de consistencia en los nombres o categorías de los elementos puede ocasionar duplicaciones o agrupaciones incorrectas, lo que refuerza la necesidad de estandarizar nomenclaturas y criterios de modelado antes de la aplicación.

También se identificaron limitaciones en la personalización de fórmulas y categorías, lo que reduce la flexibilidad de la propuesta para adaptarse a la lógica particular de la obra. Si bien Takeoff permite crear tipos de medición básicos, no admite la configuración de fórmulas condicionales ni relaciones complejas entre disciplinas. Por ejemplo, no es posible aplicar un porcentaje de desperdicio dinámico según el tipo o tamaño de área, lo que obliga al ingeniero a exportar los datos a hojas de cálculo externas para completar el análisis. Este paso, aunque funcional, interrumpe el flujo digital continuo que promueve el entorno BIM y reintroduce el riesgo de error manual o pérdida de trazabilidad.

A pesar de estas limitaciones, los ingenieros participantes destacaron ventajas concretas. Subrayaron la accesibilidad de la herramienta al ser completamente basada en la web, lo que facilita su uso sin instalaciones locales, y reconocieron su potencial como instrumento de apoyo directo al ingeniero residente. En particular, se destacó su utilidad para cuantificar elementos modificados o nuevos generados durante el desarrollo del proyecto, donde el departamento de Construcción Virtual puede modelar el cambio y el residente verificar rápidamente las cantidades derivadas. Este caso representa un uso de bajo riesgo y alta recompensa, que fortalece la integración entre las áreas de oficina técnica y campo, y responde a una necesidad real del personal de obra: disponer de un medio confiable y ágil para obtener cantidades precisas cuando las requiere.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

En síntesis, los hallazgos obtenidos durante la prueba de Autodesk Takeoff no deben interpretarse como limitaciones de la herramienta, sino como indicadores del nivel de madurez digital y organizacional actual en Estructuras S.A. Cada observación —ya sea técnica o procedimental— constituye una oportunidad de mejora para avanzar hacia una adopción más eficiente de herramientas digitales que respalden al ingeniero residente en su labor cotidiana, fortaleciendo el vínculo entre personas, procesos y tecnología dentro del entorno de obra.

Como constancia de este proceso de validación, las Figuras 23 y 24 documentan las sesiones de trabajo realizadas con el equipo de ingeniería. Las imágenes evidencian la interacción directa de los usuarios con la herramienta, ilustrando el entorno colaborativo y práctico del cual surgieron las observaciones críticas y los criterios técnicos expuestos anteriormente.

**Figura 23.** Implementación estimación de materiales Ing. Jimmy Madriz.



**Figura 24.** Implementación estimación de materiales Ing. Edwin Hernández.



### 3.4.2.2. Propuestas de solución y recomendaciones de implementación

A partir de las limitaciones detectadas en la herramienta Autodesk Takeoff —particularmente su dependencia de la calidad del modelo, la rigidez de sus flujos y la desconfianza operativa hacia los datos del modelo—, se plantea un plan de implementación progresiva orientado a reducir riesgos, fortalecer la confiabilidad del proceso y garantizar una adopción sostenible dentro del entorno de Estructuras S.A.

El objetivo de este plan no es imponer un cambio abrupto, sino construir una transición gradual, donde el modelo BIM se consolide como una fuente confiable para la extracción de cantidades y el análisis operativo, complementando (no reemplazando de inmediato) los métodos tradicionales.

El plan estratégico se basa en cuatro horizontes temporales —corto, mediano y largo plazo—, articulados con acciones específicas, responsables sugeridos y el riesgo u objetivo que cada medida busca atender.

En la Tabla 15 se muestra el plan estratégico de implementación.

**Tabla 15.** Plan estratégico de implementación para Autodesk Takeoff en Estructuras S.A.

| Horizonte   | Acción recomendada                                                                                                                                                                                                     | Responsable (Sugerido)                    | Riesgo mitigado / Objetivo                                                                        |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Corto plazo | Protocolo de auditoría de modelos:<br>Implementar un checklist de pre-cuantificación que verifique propiedades mínimas (volumen, materiales, categorías) y consistencia de nomenclaturas antes de la carga en Takeoff. | Departamento de Construcción Virtual (CV) | Mitigar el principio GIGO; aumentar la confianza del ingeniero residente en los datos del modelo. |

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

| Horizonte     | Acción recomendada                                                                                                                                                                                                              | Responsable (Sugerido)                                | Riesgo mitigado / Objetivo                                                                      |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Corto plazo   | Implementación piloto: Limitar el despliegue inicial exclusivamente al caso de uso identificado (cuantificación de órdenes de cambio/cuantificaciones menores), acompañado de sesiones de retroalimentación con los residentes. | Ingeniero residente, con apoyo del Departamento de CV | Reducir la resistencia al cambio y evitar fallas por sobrecarga operativa.                      |
| Mediano plazo | Sincronización de procesos: Incorporar la publicación auditada del modelo como parte del flujo de trabajo de obra, estableciendo una rutina formal de actualización.                                                            | Departamento de CV / Coordinador BIM                  | Evitar la latencia de la información y fortalecer la coordinación entre oficina técnica y obra. |
| Mediano plazo | Capacitación técnica modular: Diseñar sesiones breves enfocadas en el uso práctico de la herramienta, orientadas a casos reales de obra (pedidos, comparaciones, validaciones).                                                 | Departamento de CV / Ingenieros residentes            | Consolidar la curva de aprendizaje y normalizar el uso operativo.                               |
| Largo plazo   | Desarrollo de un estándar de modelado corporativo: Crear un protocolo BIM interno que defina los niveles de desarrollo (LOD), reglas de nomenclatura y estructura de propiedades requeridas para cuantificación.                | Gerencia / Departamento de CV                         | Atacar la raíz del problema G/GO y establecer un marco de calidad BIM institucional.            |

Este plan responde directamente a las observaciones realizadas durante la fase de validación y busca transformar los hallazgos técnicos en oportunidades de mejora estructural.

En el corto plazo, se pretende aumentar la confiabilidad del modelo y la aceptación del ingeniero residente mediante la creación de protocolos de verificación simples y la implementación de un caso piloto controlado, que permita demostrar el valor de la herramienta en un entorno de bajo riesgo.

En el mediano plazo, el foco se traslada hacia la integración de Takeoff dentro del flujo formal de estimación y control de obra, fortaleciendo la sincronización entre el modelo BIM y la información en campo, mientras se capacita progresivamente al personal técnico.

Finalmente, en el largo plazo, la meta es institucionalizar las buenas prácticas BIM dentro de la empresa mediante la creación de un estándar de modelado corporativo. Esto garantizará que la información contenida en los modelos cumpla con los criterios de completitud y precisión necesarios para convertirse, de forma gradual, en una fuente de verificación tan confiable como los planos PDF tradicionales.

En conjunto, este enfoque escalonado permite que la empresa evolucione hacia una gestión más digital, reduciendo la dependencia de procesos manuales y fortaleciendo la colaboración entre personas, procesos y tecnología bajo una lógica de mejora continua.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

En este sentido, es importante aclarar que este plan de implementación no busca modificar la visión, la misión ni las directrices corporativas de Estructuras S.A. Por el contrario, se plantea como una estrategia de carácter táctico-operativo que se alinea con los intereses de la empresa, especialmente en términos de eficiencia, innovación y confiabilidad. Su propósito es fortalecer las capacidades existentes mediante la optimización de un proceso clave, funcionando como un apoyo tecnológico que complementa el trabajo actual, sin sustituir la orientación general de la organización.

### **3.4.3. Reporte de realimentación: Control del avance de obra (Dalux BIM Data Files)**

El análisis de la herramienta Dalux BIM Data Files levemente más profundo, debido a que la plataforma ya formaba parte del entorno digital de Estructuras S.A. como sistema colaborativo para la gestión de modelos y documentos. Esto permitió realizar una implementación más completa y con mayor continuidad, facilitando pruebas en condiciones reales (ver Figuras 25, 26 y 27) y sesiones de validación directamente con los ingenieros residentes Jimmy Madriz y Edwin Hernández, quienes participaron activamente en el proceso de evaluación.

El proyecto Pabellón 5 del CTP Guatuso nuevamente sirvió como caso piloto, dado que ya contaba con modelos estructurales disponibles y un entorno Dalux operativo. Las sesiones se llevaron a cabo en campo y consistieron en la revisión conjunta de los modelos dentro del entorno Dalux, la creación de archivos de Datos BIM y la asignación de propiedades de avance a distintos elementos constructivos. Durante cada sesión, los ingenieros exploraron libremente la herramienta, planteando observaciones y sugerencias que enriquecieron el proceso de validación.

La interacción con Dalux se dio de forma práctica: mientras se explicaban las funciones principales, se aplicaban en el proyecto, generando discusiones sobre la utilidad, las limitaciones y las oportunidades de mejora. Este enfoque permitió obtener una retroalimentación honesta y contextualizada, en la que la herramienta se analizó no como un sistema aislado, sino como parte de la dinámica real de control de obra.

#### **3.4.3.1. Observaciones técnicas de la herramienta**

Durante la fase de prueba, se identificaron diversos hallazgos técnicos y de usabilidad que, lejos de ser interpretados como deficiencias, proporcionan una visión clara del grado de madurez tecnológica de la empresa y de los ajustes necesarios para fortalecer su entorno digital de obra.

##### **Dependencia estructural de los identificadores del modelo (Element ID)**

Uno de los hallazgos más relevantes fue la duplicidad de identificadores (Element ID) en casos donde los modelos de Revit son copiados o reutilizados parcialmente entre edificios o fases del proyecto. Dalux, al depender directamente del ID generado por Revit para reconocer cada elemento, interpreta ambos como un mismo objeto. En la práctica, esto provocó que, al asignar una propiedad de avance a un elemento —por ejemplo, “Construido”—, dicha propiedad se replicara en su copia ubicada en otro edificio. Este comportamiento distorsiona los reportes de avance y puede comprometer la trazabilidad de los datos en proyectos con estructuras repetitivas.

Este hallazgo no representa una falla funcional de la plataforma, sino un riesgo inherente a la gestión de modelos que comparten identificadores. Para mitigar este efecto, se recomienda establecer un protocolo interno de unicidad de objetos BIM, el cual puede consistir en la modificación de nombres de tipo o la adición de un identificador complementario en el modelado previo, garantizando así que Dalux reconozca cada elemento como independiente.

## **Inmutabilidad de los Archivos de Datos BIM**

Otro hallazgo técnico clave fue la rigidez de los archivos de Datos BIM una vez generados. Durante la validación, se observó que estos archivos no pueden modificarse después de su creación: no es posible agregar nuevos parámetros, cambiar filtros o ajustar propiedades una vez publicados. Esto significa que, si el ingeniero identifica posteriormente la necesidad de incorporar campos adicionales —como “Fecha de vaciado” o “Contratista responsable”—, la herramienta no lo permite. La única alternativa es eliminar el archivo y generar uno nuevo, lo que conlleva la pérdida del historial de avance registrado.

Esta característica limita la flexibilidad operativa de la herramienta, especialmente en entornos de obra donde los requerimientos de información evolucionan constantemente. No obstante, también subraya la importancia de planificar cuidadosamente el diseño inicial de los archivos de datos, asegurando que incluyan todos los campos necesarios antes de su implementación. A pesar de esta rigidez, Dalux demostró estabilidad técnica, una interfaz intuitiva y una respuesta confiable durante la gestión del avance, consolidándose como una herramienta funcional dentro del ecosistema digital de la empresa.

## **Ausencia de selección múltiple**

El principal punto de mejora señalado fue la imposibilidad de asignar propiedades de avance a varios elementos simultáneamente. Esta limitación se traduce en tiempos de actualización prolongados y una carga operativa considerable para el ingeniero residente en caso de que el archivo de datos BIM contenga una gran cantidad de elementos, como lo puede ser las viguetas de un entrepiso pretensado (caso del proyecto piloto).

El Ing. Jimmy Madriz destacó que, en archivos con gran cantidad de elementos —como los correspondientes a toda una estructura—, esta tarea se vuelve poco práctica, ya que requiere seleccionar cada elemento de forma individual. Esta observación no representa una crítica aislada, sino una validación del criterio de usabilidad considerado en el análisis multicriterio (Sección 3.3.2.2), que valora la facilidad de uso y el enfoque en la experiencia del usuario de campo. En este sentido, la ausencia de selección múltiple se interpreta como un multiplicador de fricción: un factor que aumenta el esfuerzo humano y reduce la agilidad de la herramienta en obra. Sin embargo, su impacto puede mitigarse con protocolos de segmentación del modelo o capacitación que fomente el uso de archivos de datos con un alcance controlado.

## **Conexión con cronogramas y seguimiento físico-programado**

Otra limitación identificada fue la falta de sincronización directa entre Dalux y las herramientas de planificación temporal, como MS Project o Primavera. Actualmente, el flujo de trabajo requiere mantener ambos sistemas actualizados de manera manual, lo que implica un doble registro: uno en Dalux para el avance físico y otro en el software de planificación para el avance programado. Esta desconexión crea fuentes paralelas de información que dificultan la comparación automática entre el progreso real y el planificado. Si bien esta situación no impide el uso operativo de la herramienta, sí limita su integración plena dentro de un esquema de gestión 4D, donde el tiempo y el avance físico deberían coexistir en un mismo entorno digital.

No obstante, los ingenieros reconocieron que la herramienta aporta un valor inmediato al control visual del progreso, permitiendo verificar el estado constructivo de elementos específicos, validar entregas de subcontratistas y tener un registro visual de lo ejecutado.

A pesar de las limitaciones descritas, la percepción general de los ingenieros residentes fue positiva. Ambos coincidieron en que la herramienta fortalece la trazabilidad del avance y simplifica la comunicación entre el equipo de campo y el departamento de Construcción Virtual. La posibilidad de asignar propiedades de estado (“Construido”, “En ejecución”, “Pendiente”) a los elementos del modelo facilita la lectura visual del avance y mejora la coordinación en las reuniones de seguimiento.

Los hallazgos obtenidos durante la implementación de Dalux BIM Data Files no deben considerarse limitaciones definitivas, sino diagnósticos útiles del estado actual de madurez digital en Estructuras S.A. Cada observación técnica y de usabilidad aporta información concreta para la mejora continua del entorno BIM corporativo.

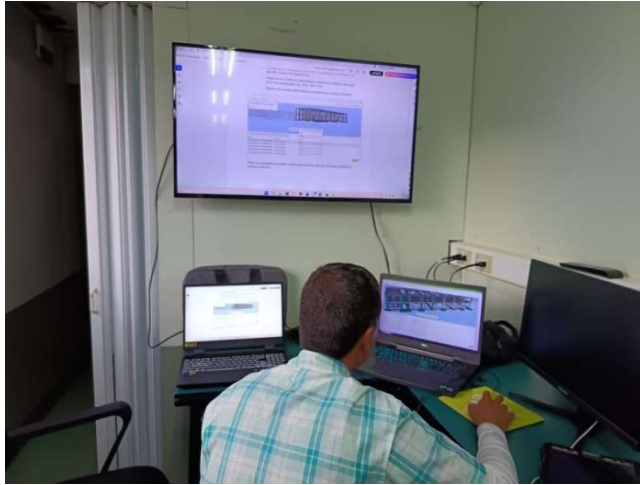
La herramienta demostró ser viable y efectiva como apoyo directo al ingeniero residente, especialmente para la verificación del avance estructural, la revisión visual del progreso y la comunicación técnica entre oficina y campo. En suma, más que un resultado cerrado, la experiencia con Dalux constituye un proceso de aprendizaje incremental, en el que la interacción entre personas, procesos y tecnología sigue consolidándose como la base de una gestión de obra más conectada y eficiente.

Como constancia de esta fase experimental, las Figuras 25, 26 y 27 documentan el desarrollo de las sesiones de implementación de Dalux BIM Data. Esta secuencia visual no solo evidencia la puesta en marcha de los protocolos descritos, sino que ilustra la interacción real de los ingenieros con la interfaz, validando la aplicabilidad de la herramienta en el entorno cotidiano de la obra.

**Figura 25.** Implementación control de avance Ing. Jimmy Madriz.



**Figura 26.** Implementación control de avance 2 Ing. Jimmy Madriz.



**Figura 27.** Implementación control de avance Ing. Edwin Hernández.



### 3.4.3.2. Propuestas de solución y recomendaciones de implementación

Con base en los hallazgos técnicos identificados durante la implementación de Dalux BIM Data Files —como la duplicidad de identificadores (*Element ID*), la inmutabilidad de los archivos de datos y las limitaciones de usabilidad (ausencia de selección múltiple y doble registro)—, se propone un plan de acción integral y gradual orientado a mejorar la estabilidad técnica, optimizar la experiencia de uso y fortalecer la adopción de la herramienta dentro de Estructuras S.A.

El propósito de este plan no es transformar de inmediato los flujos de trabajo, sino refinar los procesos existentes mediante ajustes controlados que permitan consolidar el uso de Dalux como plataforma confiable para el control del avance físico en obra, apoyando al ingeniero residente y fortaleciendo el vínculo entre campo y oficina técnica.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

En la Tabla 16 se muestra el plan de mitigación y optimización.

**Tabla 16.** Plan de mitigación y optimización para Dalux BIM Data Files en Estructuras S.A.

| Horizonte     | Acción recomendada                                                                                                                                                                                                                   | Responsable (Sugerido)                                    | Riesgo mitigado / Objetivo                                                          |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Inmediato     | Protocolo de mitigación de duplicidad: Establecer como política que, al copiar modelos en Revit, se modifique el nombre del tipo o se agregue un identificador adicional para asegurar unicidad en Dalux.                            | Departamento de Construcción Virtual (Equipo CTP Guatuso) | Corrupción de datos en casos atípicos; Falla de integridad de la SSOT.              |
| Corto plazo   | Estandarización de propiedades base: Definir un conjunto mínimo de propiedades (Estado, Fecha, Responsable, Contratista) que se incluyan por defecto en cada archivo de Datos BIM.                                                   | Departamento de CV / Coordinador BIM                      | Rigidez del flujo (inmutabilidad); Pérdida de historial y trazabilidad.             |
| Corto plazo   | Capacitación práctica y progresiva: Desarrollar sesiones cortas enfocadas en tareas específicas (por ejemplo, avance de concreto o estructura) y en subconjuntos de elementos para aumentar la familiaridad y confianza del usuario. | Departamento de CV / Ingenieros Residentes                | Resistencia al cambio; Percepción de sobrecarga operativa.                          |
| Mediano plazo | Flujo de actualización controlada: Crear un procedimiento formal para regenerar archivos de datos, con respaldo automático del histórico previo, garantizando la trazabilidad de los avances.                                        | Coordinador BIM / Departamento de CV                      | Pérdida de historial de avance; Desalineación de versiones.                         |
| Mediano plazo | Estrategia de segmentación de modelos: Dividir los modelos grandes en secciones manejables (por edificio, nivel o sistema) para reducir la carga de trabajo y mejorar la velocidad de registro en campo.                             | Departamento de CV / BIM Manager                          | Ineficiencia en campo; Lentitud por volumen de datos.                               |
| Largo plazo   | Integración con cronogramas: Evaluar la vinculación de los datos exportados desde Dalux con los cronogramas del proyecto para avanzar hacia una comparación física-programada simplificada.                                          | Departamento de CV / Oficina Técnica                      | Doble registro de información; Falta de alineación entre avance real y planificado. |

| Horizonte | Acción recomendada                                                                                                                                                                       | Responsable (Sugerido)        | Riesgo mitigado / Objetivo                                        |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Continuo  | Programa de gestión del cambio: Institucionalizar la retroalimentación de los ingenieros residentes, creando un repositorio de buenas prácticas, errores comunes y soluciones aplicadas. | Gerencia / Departamento de CV | Fracaso de adopción por falta de comunicación o soporte continuo. |

Este plan busca transformar los hallazgos del proceso de validación en oportunidades de mejora concretas, centradas en tres ejes: estandarización, capacitación y retroalimentación continua.

En el horizonte inmediato y de corto plazo, se propone establecer las medidas mínimas necesarias para garantizar la integridad de la información y la coherencia de los modelos. Estas acciones —como el protocolo de unicidad y la estandarización de propiedades— apuntan a reducir errores técnicos y a reforzar la confianza en la herramienta.

Durante el mediano plazo, las acciones se orientan a mejorar la eficiencia operativa y la gestión del cambio, mediante procedimientos claros para actualizar archivos sin pérdida de información y estrategias de segmentación que simplifiquen el trabajo del ingeniero residente. En el largo plazo, se plantea avanzar hacia una integración más sólida entre los datos del modelo y los cronogramas de obra, permitiendo una lectura más completa del desempeño constructivo sin depender de registros duplicados.

Finalmente, de forma continua, se recomienda mantener un programa de retroalimentación activa con los usuarios, documentando las lecciones aprendidas y los casos de éxito. Este proceso permitirá refinar la herramienta y adaptar su uso a las necesidades reales del campo, consolidando una cultura digital basada en mejora progresiva.

En conjunto, este plan sienta las bases para una adopción responsable, práctica y sostenible de Dalux BIM Data Files dentro de Estructuras S.A., garantizando que la herramienta evolucione al ritmo de la empresa y se convierta en un apoyo real para el ingeniero residente y el control operativo en obra.

### 3.4.4. Metodología de seguimiento y análisis de eficiencia operativa

Para validar la efectividad de la propuesta más allá de la percepción cualitativa y consolidar el reporte de retroalimentación, se ejecutó un protocolo de monitoreo activo en el sitio. Este procedimiento tuvo como objetivo trascender la simple implementación de software y capturar datos concretos sobre el desempeño de los nuevos flujos de trabajo en las condiciones reales de la obra.

Protocolo de seguimiento en campo: El seguimiento se estructuró mediante Sesiones de Acompañamiento Técnico (SAT), con el fin de observar la interacción del ingeniero residente con las herramientas sin interrumpir su gestión crítica. La recolección de datos se basó en tres instrumentos de control:

1. **Observación participante:** Registro en tiempo real de las fricciones operativas y la curva de aprendizaje durante la ejecución de tareas específicas.
2. **Registro cronometrado:** Medición de los tiempos de ejecución de los procesos digitales para contrastarlos con los tiempos estimados de los métodos manuales (Línea Base).
3. **Validación cruzada:** Comparación de la precisión de los datos obtenidos por el software frente a los controles manuales del ingeniero, asegurando la integridad de la información.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

**Resultados comparativos:** Escenarios "As-Is" vs. "To-Be" A partir de los datos recolectados en dichas sesiones, se desarrolló un análisis comparativo para cuantificar el impacto de la mejora. Las siguientes tablas presentan los indicadores de desempeño observados, contrastando la eficiencia operativa del método tradicional frente a la propuesta BIM.

**Tabla 17.** Indicadores de eficiencia en el proceso de estimación de materiales

| Indicador de desempeño                            | Método tradicional (Planos PDF + Excel)                                                          | Método propuesto (Autodesk Takeoff)                                                  | Diferencia / Mejora                   |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Pasos manuales requeridos                         | 8 pasos (Buscar plano, verificar escala, medir, anotar, calcular, sumar, transcribir, verificar) | 4 pasos (Abrir modelo, seleccionar paquete, extracción automática, exportar)         | Reducción del 50% en pasos operativos |
| Tiempo de cuantificación (Ejemplo: Cimentaciones) | ~ 20 minutos (Medición manual elemento por elemento)                                             | ~ 9 minutos (Selección de grupo y extracción automática)                             | Ahorro de tiempo estimado del ~55%    |
| Puntos de riesgo de error humano                  | Alto (Error de lectura, error de escala, error de fórmula en Excel, error de dedo)               | Bajo (Limitado a la calidad del modelado previo; eliminación de error aritmético)    | Mayor fiabilidad del dato             |
| Trazabilidad del dato                             | Nula (No se sabe de dónde salió el número en el Excel sin volver a medir)                        | Total (Al hacer clic en el dato, la herramienta ilumina el elemento en el modelo 3D) | Auditoría inmediata                   |

La Tabla 17 evidencia que la digitalización elimina la fricción operativa asociada al cálculo manual. La reducción de pasos no solo impacta la velocidad, sino que disminuye proporcionalmente la probabilidad de error humano (desperdicio de *Defectos*), atacando directamente el *Sobre-procesamiento* diagnosticado.

**Tabla 18.** Indicadores de eficiencia en el proceso de control del avance de obra.

| Indicador de desempeño     | Método tradicional (Reporte Subcontratista + Verificación)          | Método propuesto (Dalux BIM Data)                                                          | Diferencia / Mejora                        |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Latencia de la información | Alta (El avance se conoce hasta el corte de pago o reporte semanal) | Tiempo real (El avance se visualiza en el momento en que se actualiza el archivo de datos) | Eliminación de "Esperas" de información    |
| Base de discusión          | Subjetiva (Opinión del contratista vs. Opinión del residente)       | Objetiva (Elementos coloreados en el modelo 3D: "Lo que está verde se paga")               | Reducción de conflictos y re-negociaciones |

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

| Indicador de desempeño | Método tradicional<br>(Reporte Subcontratista + Verificación)    | Método propuesto<br>(Dalux BIM Data)     | Diferencia / Mejora                 |
|------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|
| Formato validación     | Disperso (Fotos en WhatsApp, tablas en Excel, notas en bitácora) | Centralizado (Todo reside en el archivo) | Eliminación de silos de información |

Los resultados mostrados en la Tabla 18 confirman la hipótesis de investigación: la ineficiencia actual no proviene de la falta de capacidad técnica de los ingenieros, sino de la naturaleza fragmentada de sus herramientas. La propuesta demuestra capacidad técnica para reducir los tiempos de gestión y aumentar la transparencia, validando su efectividad operativa.

### 3.4.5. Síntesis de la validación y lecciones aprendidas para Estructuras S.A.

La ejecución del objetivo específico 4 culmina satisfactoriamente no por demostrar una adopción tecnológica completa, sino por entregar un diagnóstico estratégico de implementación para Estructuras S.A., sustentado en observaciones reales de campo y en la formulación de planes de acción concretos. El valor de esta etapa no radica en la perfección de las herramientas, sino en la claridad alcanzada sobre las barreras reales y las condiciones necesarias para una integración exitosa de BIM en la fase de ejecución.

Esta trazabilidad, detallada en la Tabla 19, transforma la experiencia del piloto en conocimiento organizacional estructurado.

**Tabla 19.** Matriz de contraste: Objetivos vs. Resultados del piloto y lecciones aprendidas

| Objetivo específico<br>(Planteamiento Teórico)                                    | Acción ejecutada en el piloto<br>(Realidad Operativa)                                              | Contraste (Lo que sucedió)                                                                                                                                                               | Lección aprendida (Conocimiento generado)                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OE1: Diagnóstico Identificar desperdicios como el "Sobre-procesamiento" manual.   | Observación de la carga real de trabajo del ingeniero residente durante la transición de personal. | Confirmado: La saturación es real. Sin embargo, se observó que la adopción de tecnología también se percibe inicialmente como "sobre-procesamiento" si no hay dominio de la herramienta. | La paradoja de la eficiencia: Para eliminar desperdicios con tecnología, se requiere una inversión inicial de tiempo (curva de aprendizaje) que el ingeniero saturado no tiene. La implementación debe incluir descarga operativa temporal. |
| OE2: Estrategias Proponer usos BIM (QTO y Control Visual) para agilizar procesos. | Prueba de Autodesk Takeoff para cuantificar cambios y Dalux para visualizar avance.                | Validado con condicionantes: Las estrategias funcionan, pero revelaron dependencias ocultas (ej. la duplicidad de IDs en Dalux o la falta de parámetros en Takeoff).                     | La estrategia depende de la data: Una estrategia BIM correcta fracasa si la "materia prima" (el modelo) no tiene la calidad (LOD/Información) necesaria. La estrategia debe iniciar en la pre-construcción, no en la obra.                  |

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

| Objetivo específico<br>(Planteamiento<br>Teórico)                                           | Acción ejecutada<br>en el piloto<br>(Realidad<br>Operativa)                                      | Contraste (Lo que sucedió)                                                                                                                                            | Lección aprendida (Conocimiento<br>generado)                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OE3: Diseño<br>Crear flujos<br>estandarizados<br>(SOP) y manuales<br>para guiar al usuario. | Intento de<br>aplicación de los<br>manuales en un<br>entorno de alta<br>rotación de<br>personal. | Brecha de usabilidad: El<br>manual es útil, pero<br>insuficiente por sí solo<br>cuando el usuario enfrenta<br>la presión del cierre de<br>proyecto.                   | El documento no hace al<br>proceso: Los SOP son<br>necesarios, pero no suficientes.<br>La adopción requiere<br>acompañamiento humano<br>(mentoring) en sitio, no solo<br>entrega documental.                                          |
| OE4: Validación<br>Demostrar la<br>efectividad de la<br>propuesta en un<br>entorno real.    | Medición de<br>tiempos (ahorro<br>del 55%) y<br>precisión de datos<br>en tareas<br>controladas.  | Éxito técnico vs. Barrera<br>cultural: La herramienta<br>demostró ser efectiva<br>(ahorra tiempo), pero la<br>adopción masiva se frenó<br>por prioridades operativas. | Gestión del cambio sobre<br>tecnología: El éxito de la<br>implementación en Estructuras<br>S.A. será 20% tecnológico y 80%<br>gestión del cambio. La tecnología<br>está lista; la cultura operativa<br>debe adaptarse para recibirla. |

### **Análisis dimensional de las lecciones aprendidas**

A partir del contraste anterior, se profundiza en el análisis de los tres pilares fundamentales de la transformación (Personas, Procesos y Tecnología), detallando las dinámicas específicas observadas durante la validación.

#### **Personas**

Se comprobó que la barrera principal es humana y no tecnológica. La resistencia del personal de obra no responde a un rechazo del cambio, sino a una reacción racional ante una sobrecarga operativa y herramientas cuya usabilidad aún no está completamente adaptada al ritmo de obra. Esta condición reafirma la necesidad de implementar un programa formal de gestión del cambio, que acompañe la transición digital con capacitación progresiva, comunicación efectiva y retroalimentación continua entre oficina técnica y campo.

#### **Procesos**

El análisis reveló que los procesos actuales presentan fracturas estructurales que limitan el aprovechamiento del entorno BIM. En la estimación de materiales (Autodesk Takeoff), el problema radica en que los modelos no siempre alcanzan el nivel de desarrollo requerido para cuantificación, lo que genera el efecto *G/GO* y desconfianza en los resultados. En el control del avance (Dalux BIM Data Files), los hallazgos sobre la gestión de archivos duplicados y la rigidez de los datos demuestran que, sin un marco organizativo sólido y estandarizado, las herramientas pierden impacto o se usan de manera fragmentada.

#### **Tecnología**

La validación evidenció que la tecnología seleccionada (Takeoff y Dalux) no es perfecta, pero sí suficientemente robusta para construir una base de transformación digital. Ambas herramientas, más que soluciones cerradas, se consolidaron en este piloto como instrumentos de aprendizaje organizacional, permitiendo a la empresa identificar sus brechas de madurez y diseñar rutas de mejora a mediano plazo.

Propuesta para la integración de la metodología BIM en los procesos de estimación de materiales y control del avance de obra en Estructuras S.A.

En conjunto, los resultados obtenidos constituyen un mapa de aprendizaje institucional para Estructuras S.A. La experiencia demuestra que la digitalización en obra no se logra incorporando nuevas herramientas aisladas, sino alineando la calidad de los modelos (origen) con la capacidad operativa del personal (destino), bajo una estrategia común que priorice la gestión del cambio.

# Conclusiones y recomendaciones

## Conclusiones

La presente investigación ha permitido desarrollar una ruta de modernización para los procesos de ejecución en Estructuras S.A. A continuación, se presentan las conclusiones derivadas del estudio, las cuales sintetizan el cumplimiento de los objetivos planteados y los hallazgos estratégicos para la organización.

En primera instancia, el diagnóstico operativo confirmó la existencia de una brecha tecnológica significativa entre la oficina técnica y la obra. Mediante la aplicación del *Value Stream Mapping* (VSM), se evidenció que la gestión del ingeniero residente dependía de procesos manuales y fragmentados, lo que generaba desperdicios críticos: un sobre-procesamiento en la cuantificación de materiales, que consumía tiempos excesivos sin agregar valor, y defectos derivados de la subjetividad en el control del avance. Este análisis permitió concluir que la ineficiencia no radicaba en la capacidad del personal, sino en la obsolescencia de sus herramientas de gestión.

Frente a esta realidad, se definieron las estrategias de intervención necesarias para alinear la operación con los estándares de la industria. Se concluye que la adopción de BIM en la etapa de ejecución no debe ser generalista, sino que debe regirse por la norma ISO 19650 y enfocarse en usos específicos que ataquen los desperdicios diagnosticados. En este sentido, se determinó que la estrategia de "Flujo Híbrido 2D/3D" para la cuantificación y el "Control Visual" para el avance constituyen la ruta técnica idónea para la empresa, alineando la operación de campo con los lineamientos del CFIA y el BIM Forum Costa Rica.

La materialización de estas estrategias se logró mediante el diseño de una propuesta de integración. El análisis multicriterio (MCDA) validó la selección de Autodesk Takeoff y Dalux BIM Data Files como las herramientas óptimas, equilibrando funcionalidad y costo. Sin embargo, se concluye que el valor del diseño no reside únicamente en el software, sino en la estructuración de nuevos flujos de trabajo ("*To-Be*") y la creación de un cuerpo normativo (Procedimientos Operativos y Guías de Usuario). Estos documentos son el componente esencial que transforma herramientas aisladas en un sistema de gestión estandarizado y reproducible.

La viabilidad de este diseño fue probada mediante su implementación en el proyecto piloto CTP de Guatuso. Los resultados en campo confirmaron la efectividad técnica de la propuesta, demostrando, por ejemplo, reducciones estimadas del 55% en los tiempos de cuantificación y la eliminación de la latencia de información en el control de avance. No obstante, la implementación reveló que la adopción intensiva enfrenta barreras que trascienden lo tecnológico: la saturación operativa del ingeniero residente se identificó como el principal obstáculo. Por tanto, se concluye que el éxito de la implementación futura dependerá en un 20% de la robustez del software y en un 80% de una estrategia de gestión del cambio que libere tiempo para la curva de aprendizaje.

Finalmente, en respuesta al objetivo general, se concluye que se ha desarrollado con éxito una propuesta integral para la integración de la metodología BIM en los procesos de ejecución de Estructuras S.A. La investigación entrega a la empresa no solo una solución tecnológica probada, sino un marco operativo que ataca la brecha digital entre la oficina y la obra.

# Recomendaciones

La gerencia y el departamento de Construcción Virtual deben implementar un programa de capacitación progresiva dirigido al personal técnico, especialmente a los ingenieros residentes. Las sesiones deben ser breves, prácticas y enfocadas en tareas específicas, de modo que la adopción tecnológica se integre de forma natural en la rutina de obra y no se perciba como una carga adicional.

Los ingenieros directores, en coordinación con el departamento de Construcción Virtual, deben estandarizar los flujos de trabajo BIM dentro de la empresa. La unificación de nomenclaturas, formatos y procedimientos entre los departamentos de Construcción Virtual, Presupuestos y Obra permitirá reducir la duplicidad de registros, mejorar la trazabilidad de la información y fortalecer la coordinación entre los equipos.

Departamento de Construcción Virtual debe crear un repositorio de lecciones aprendidas que documente los principales hallazgos, limitaciones y buenas prácticas derivadas de los proyectos. Este recurso serviría como base de conocimiento compartido, favoreciendo la mejora continua y la replicación de experiencias exitosas.

La gerencia debe acompañar la implementación tecnológica con una estrategia de gestión del cambio centrada en las personas. Es fundamental comunicar los beneficios concretos del uso de herramientas digitales, promover la participación del personal y fomentar una cultura organizacional abierta a la innovación.

Las universidades, centros de investigación y, dentro de la empresa, las áreas relacionadas con el desarrollo organizacional deben continuar con investigaciones que profundicen en la medición del impacto de la metodología BIM en la productividad y eficiencia de los proyectos. Estos estudios podrían ampliar la comprensión sobre los beneficios reales de la digitalización y aportar conocimiento útil para el fortalecimiento del sector constructivo nacional.

# Referencias

- Aponte, L. X. (2016). *Gestión de proyectos de construcción con metodología BIM*.
- Arreola, J. (2018). La productividad en la construcción, muy baja. *Forbes México*.
- Barbosa, F., Gerbert, P., Gild, J., Ondruschka, J., & Pribram, J. (2017). Reinventing construction through a productivity revolution. *McKinsey Global Institute*.
- Bew, M. &. (2008). *BIM Maturity Model*. Building Information Modeling (BIM) Strategy Report.
- BIM Community. (s.f.). *Comprensión de la norma ISO 19650: Guía para la gestión BIM en la construcción*. Obtenido de BIM Community: <https://www.bimcommunity.com/understanding-iso-19650-guide-for-bim-management-in-construction/>
- BIM Forum Costa Rica. (2023). *Guía para la elaboración de una solicitud de información BIM (SDI BIM)*. Cámara Costarricense de la Construcción. Obtenido de <https://construccion.co.cr/wp-content/uploads/2024/02/Guia-SDI-BIM-julio2023.pdf>
- Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*.
- Cano, J. L. (2007). *Business Intelligence: competir con información*. Obtenido de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/61128354/Business\\_Intelligence\\_competir\\_con\\_informacion20191104-55292-drxoy.pdf?1738390219=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DBUSINESS\\_INTELLIGENCE\\_COMPETIR\\_CON\\_INFOR.pdf&Expires=1757084897&Signature=](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/61128354/Business_Intelligence_competir_con_informacion20191104-55292-drxoy.pdf?1738390219=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DBUSINESS_INTELLIGENCE_COMPETIR_CON_INFOR.pdf&Expires=1757084897&Signature=)
- Carvajal, N. A. (2018). *Estudio de impacto del uso de la metodología BIM en la planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168599>
- Celemín, J. P. (2014). *El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: Un análisis comparativo*. Universidad Nacional de Luján. Obtenido de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/17466>
- Chacón, L. R. (26 de septiembre de 2024). *Costa Rica avanza hacia la modernización de la obra pública con la presentación del proyecto de ley para la implementación de la metodología BIM*. Obtenido de CII BIM: <https://ciibim.cr/2024/09/26/costa-rica-avanza-hacia-la-modernizacion-de-la-obra-publica-con-la-presentacion-del-proyecto-de-ley-para-la-implementacion-de-la-metodologia-bim/>
- Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas. (2019). *Guía de apoyo a contrataciones con requisitos BIM*. Ministerio de Fomento. España. Obtenido de [https://ingenieros-civiles.es/colegio/archivos/Guia%20BIM\\_new.pdf](https://ingenieros-civiles.es/colegio/archivos/Guia%20BIM_new.pdf)
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (s.f.). *Comisión Paritaria Permanente BIM*. Obtenido de Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica.: <https://cfia.or.cr/site/en/quienes-somos/estructura-organizacional/comisiones/comision-paritaria-permanente-bim-building-information-modeling/>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Wiley.
- Fazli, A., Fazli, M., Fathi, B., Fathi, S., & Hadi, M. (2014). *Appraising Effectiveness of Building Information Management (BIM) in Project Management*. Obtenido de [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017314003533?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017314003533?utm_source=chatgpt.com)
- Ferrari, A., & Russo, M. (2016). *Introducing Microsoft Power BI*. Microsoft Press.
- Giel, B. K., & Issa, R. R. (2011). *Return on Investment Analysis of Using Building Information Modeling in Construction*. Journal of Computing in Civil Engineering. Obtenido de <https://ascelibrary.com/doi/10.1061/%28ASCE%29CP.1943-5487.0000164>
- Junqui, A. G., Muñoz, H. A., Briones, M. B., & Cedeño, A. Y. (2022). *Análisis del sistema BIM en construcción de viviendas respecto al método tradicional en Manabí-Ecuador*. Revista Científica FIPCAEC. Obtenido de <https://www.fipcaec.com/index.php/fipcaec/article/view/732>
- Kymmell, W. (2008). *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with BIM and Construction Management*. McGraw-Hill.

- Love, P. E. (2002). Influence of Project Type and Procurement Method on Rework Costs in Building Construction Projects. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 18-29. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:1(18)
- Martínez, G. J., Botello, H. Y., & Montelongo, A. M. (2019). *Mejora en la construcción por medio de lean construction y building information modeling: caso estudio*. Dialnet. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7242765>
- Mattos, A. D., & Valderrama, F. G. (2014). *Métodos de planificación y control de obras*. Reverté.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica . (2020). *Estrategia Nacional BIM Costa Rica*.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). (2020). *Estrategia Nacional BIM Costa Rica*. San José: Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. Obtenido de <https://ciibim.cr/wp-content/uploads/2023/10/ESTRATEGIA-NACIONAL-BIM-CR-2020.pdf>
- Orvañanos, J. C. (2002). *Planeación y control*. Ciudad de Mexico.
- Planbim. (2021). Estándar BIM para Proyectos Públicos. Obtenido de <https://construye2025.cl/wp-content/uploads/2022/07/Estandar-BIM.pdf>
- Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos Body of Knowledge*.
- Project Management Institute. (2021). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos Body of Knowledge* (7 ed.).
- 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*.
- Valdés, M. G., Acevedo, S. A., Acuña, L. A., & Molina, R. I. (2023). *Impacto de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción*. Obtenido de <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6860>
- Vilcapoma, D. R. (2019). *Implementación de la tecnología Building Information Modeling (BIM) 4d en la ejecución de proyectos de edificación*.

# Apéndices

A continuación, se presentan los apéndices que complementan la información desarrollada en el cuerpo principal de este trabajo:

- Apéndice A:** Entrevista Jimmy Madriz
- Apéndice B:** Entrevista Moisés Malespín
- Apéndice C:** Entrevista Oscar Corrales
- Apéndice D:** Entrevista David Garita
- Apéndice E:** Entrevista Edwin Hernández
- Apéndice F:** Entrevista Fabián Matamoros
- Apéndice G:** Registro Observación Participante
- Apéndice H:** Entrevista Antony Vásquez
- Apéndice I:** Entrevista Anderson Reyes
- Apéndice J:** Entrevista Yenny Osorio
- Apéndice K:** Entrevista Yenny Osorio 2
- Apéndice L:** Entrevista Juan Castillo
- Apéndice M:** Entrevista Néstor Del Pozo
- Apéndice N:** Entrevista Lucio Custo
- Apéndice O:** Entrevista Julián Chaur
- Apéndice P:** Procedimiento Operativo Estándar (SOP) para la estimación de materiales
- Apéndice Q:** Guía práctica para el Ingeniero Residente - estimación de materiales
- Apéndice R:** Procedimiento Operativo Estándar (SOP) para el control del avance de Obra
- Apéndice S:** Guía práctica para el Ingeniero Residente - control de avance con Dalux

# Apéndice A

## Instrumentos para la recolección de datos (OE1)

Fecha de la entrevista: 29/8/2025

Entrevistador: Marcos González Torres

Entrevistado: Jimmy Madriz Mata

### Guía de entrevista de validación para el ingeniero residente (Ing. Jimmy Madriz Mata)

Esta guía no es para una entrevista nueva, sino para una sesión de validación corta y grabada. El objetivo es que Jimmy vea los procesos que ya se han documentado y que los confirme, corrija o enriquezca.

#### Guion

- **Introducción:**

"Jimmy, muchas gracias por tu tiempo. Como sabes, estoy documentando los procesos actuales para mi TFG. Basado en nuestras conversaciones anteriores, he estructurado un resumen de los flujos de trabajo y me gustaría validarlo contigo para asegurar que lo he entendido correctamente. Voy a grabar esta conversación para tener un respaldo preciso de tus comentarios."

- **Bloque 1: Validación del Proceso de Planificación**

"Según lo que conversamos, el flujo para planificar materiales inicia cuando tú y el maestro de obras identifican los elementos a construir. Luego, tú realizas la cubicación/cuantificación de acero y concreto, y esta información se la pasas al maestro de obras para una segunda revisión en campo, en el caso del concreto. Al mismo tiempo, le comunicas los requerimientos al bodeguero, quien es el que centraliza todo y hace el pedido a la oficina en Ochoмого a través de O4B. ¿Es esto correcto?"

"Identificamos como una limitante principal los documentos o planos PDF del cliente ya que estos tienen incoherencias entre sí, además de mencionar el tema de la topografía general. ¿Podrías confirmar que este es un desafío que afecta la planificación?"

- **Bloque 2: Validación del Proceso de Control de Avance**

"Para el control del avance, entendí que manejas dos esquemas. El primero es una tabla general de pagos que tú llenas y que luego es validada por la inspección para el pago del cliente y el segundo es a través de 'subtablas' que te presentan los proveedores, las cuales tú revisas y apruebas para autorizar sus pagos. ¿Esto es correcto?"

"En este proceso de control con subcontratistas, ¿consideras que el tener que verificar la información que ellos presentan es uno de los puntos que más consume tiempo y donde pueden surgir discrepancias?"

- **Bloque 3: Cierre y Confirmación**

"Finalmente, ¿hay algún otro actor, paso o limitante importante en estos dos procesos que consideres que he omitido y que debería incluir en mi diagnóstico?"

"Muchas gracias, Jimmy."

## Transcripción de la entrevista:

### Inicia entrevista

**Marcos González Torres:** Jimmy, muchas gracias por tu tiempo. Como sabes, estoy documentando los procesos actuales para mi TFG. Basado en estas conversaciones anteriores, he estructurado un resumen de los flujos de trabajo y me gustaría validarlo contigo para asegurar que lo he entendido correctamente. Voy a grabar esta conversación para tener un respaldo de tus comentarios.

**Marcos González Torres:** Esta conversación la dividí en tres bloques. El primero es la validación del proceso de planificación. Según lo que conversamos, el flujo para planificar los materiales inicia cuando vos y el maestro de obras identifican los elementos a construir. Luego vos realizas la cubicación, la cuantificación de acero y concreto y esa información se la pasas al maestro de obras para una segunda revisión en campo en el caso del concreto. Al mismo tiempo le comunicas los requerimientos al bodeguero, quien es el que centraliza todo y hace el pedido a la oficina de Ochoмого a través de O4B. ¿Esto cierto?

**Jimmy Madriz Mata:** Sí. ¿Qué tal Marcos? Efectivamente así es como se elabora en campo. Siempre se pretende prever el trabajo que se va a realizar en semanas próximas. Es de mal gusto, por decirlo de alguna manera, en el ámbito de la construcción, tener que salir corriendo a solicitar materiales con entrega inmediata, porque se olvidó, porque se pasó por alto o lo que sea, puesto que eso lo que hace prácticamente es encarecer el proyecto pagando fletes adicionales o sobre precios para que los materiales sean entregados en obra ante una emergencia. Entonces se debe tratar ante todo de evitar que pasen ese tipo de cosas.

**Marcos González Torres:** Luego identificamos como una limitante, una limitante principal, los documentos o planos PDF del cliente, ya que estos tienen incoherencias entre sí y además de mencionar temas como la topografía general del proyecto, podrías confirmar que esto fue un desafío a la hora de realizar la planificación.

**Jimmy Madriz Mata:** Sí, el arranque de este proyecto ha sido muy particular por ese par de temas que tocas. Primero que nada, los planos facilitados por el cliente vienen asegurados o con protecciones adicionales que no nos permiten manejarlos como quisiéramos. Esas protecciones adicionales o por los programas en los que se hicieron, hacen que sean PDFs muy pesados, difíciles de manejar. Con el tema de la topografía, igual, hubo un problema grande aquí en el proyecto, en los planos que lograron conseguir con la información, se señalaban puntos de amarre que en sitio físicamente no existían, por cual no se pudieron usar esos planos para todo el levantamiento y posicionamiento de los edificios en planta. La topografía contratada tuvo que generar de cero planos de curvas de nivel de todas las áreas de trabajo a realizar y replantear todo el proyecto, lo cual generó un atraso de más de una semana mientras regresaron con toda la información ya procesada, ahora sí a marcar todos los edificios.

**Marcos González Torres:** Ok perfecto, eso sería con la validación del proceso de la planificación. Ahora, como segundo bloque, la validación del proceso para el control del avance. Para el control del avance entendí que manejas dos esquemas. El

primero es una tabla general de pagos que tú llenas y que luego es validada por inspección para el pago por parte del cliente. Y lo segundo es a través de unas subtablas que presentan los proveedores, las cuales tú revisas y apruebas para autorizar los pagos. ¿Es esto correcto?

**Jimmy Madriz Mata:** Vamos a ver. Generalmente, lo usual en este tipo de proyectos constructivos es que, una vez acordado el monto con el cliente, se desglosa en una tabla de pagos general que es revisada entre Estructuras como empresa constructora y el cliente, en este caso el Ministerio de Educación Pública, donde en una serie de ítems a interés de los inspectores, se desglosa el monto total del contrato. Generalmente, es mensualmente que se revisa, dándole porcentajes de avance a cada una de las líneas que corresponden. Esos porcentajes de avance, lo usual es generar una propuesta, enviársela al propietario y a la inspección y el día que hay visita en sitio se revisa en conjunto, usualmente los inspectores tienen a solicitar ajustes a los porcentajes propuestos y demás. Una vez que todo esto se da ya se genera una tabla de pagos que es la aprobada con el avance de ese mes y con eso se procede a facturar.

**Jimmy Madriz Mata:** Lo otro tiene que ver entre Estructuras y todos los subcontratistas que haya en el proyecto, esto es algo interno, y que es como se controla el avance que tienen los diferentes subcontratistas, por ejemplo, estructura metálica, ventanearía, armadura, formaleta, etc. Con ellos generalmente igual por un tema de control y facilidad se acuerda un monto de contrato y ese monto de contrato en cada una de esas especialidades se desglosa se procede de igual manera a generar una tabla de pagos y se aprueban los porcentajes de avance y las facturaciones en base a eso.

**Marcos González Torres:** Ok perfecto, perfecto. Luego, en este proceso del control con los subcontratistas, ¿Consideras que al tener que verificar la información que ellos presentan es uno de los puntos que más consume tiempo y donde pueden surgir discrepancias?

**Jimmy Madriz Mata:** Sí, vamos a ver, siempre todos los contratistas van a querer o pretender cobrar más de lo que les corresponde. Ellos son los que hacen el planteamiento original de los porcentajes o el avance que ellos creen que tienen en sitio y a uno como ingeniero del proyecto le toca verificar que efectivamente lo que ellos están planteando es cierto o no. Eso lleva tiempo. Si tenés en un proyecto seis contratistas a los cuales tenés que revisarle los avances, tenés que sacar seis ratos, por decirlo de alguna manera, durante la semana para ver con ellos los avances y aprobar o quitarles o lo que sea. Y eso no deja de perjudicarlo a uno en sitio porque siempre tenés al maestro horas encima haciéndote consultas o a gente y buscándote. Entonces de tener todo eso encima y estar viendo cosas administrativas, Tiende a ser un poco complicado.

**Marcos González Torres:** OK, OK. Bueno, y ahora el bloque 3 que sería el cierre y la confirmación finalmente, ¿Hay algún otro actor o paso o limitante en estos dos procesos que consideras que he omitido y que debería incluir en mi diagnóstico?

**Jimmy Madriz Mata:** Me parece que no. Vamos a ver, recapitulando nuevamente, lo que tiene que ver con el propietario se dé directamente con los inspectores, ellos aprueban avance y en base a lo que ellos aprueban es que se genera la factura y se le cobra el propietario. Y a lo interno con nuestros contratistas, ellos son los que generan la propuesta de avance, nosotros la revisamos, les aprobamos pagos y ellos generan factura y se procede a facturar. Así que en términos globales es eso.

**Marcos González Torres:** OK, perfecto. Di no, Jimmy, nada más que agradecerte.

**Finaliza entrevista**

# Apéndice B

## Instrumentos para la Recolección de Datos (OE1)

**Fecha de la entrevista:** 16/8/2025

**Entrevistador:** Marcos González Torres

**Entrevistado:** Moisés Malespín

### Guía de Entrevista de bodeguero

Para el proceso del bodeguero se entrevistó de manera espontánea a Moisés Malespín, quien permitió ser grabado brevemente

### Transcripción de la entrevista:

#### Inicia entrevista

**Marcos González Torres:** Esto es para luego acordarme, Okay, ¿vos llegas y Jimmy te pasa el material verdad? Te pasa las toneladas, la cantidad de acero y demás y vos a través de O4B montas el pedido, montas el pedido, ¿ese pedido a quién le llega?

**Marcos González Torres:** Ese pedido se lo mando a Juan Carlos que es el jefe, digamos ahorita que está de proveeduría.

**Moisés Malespín:** Juan Carlos, jefe de proveeduría.

**Moisés Malespín:** Juan Carlos Ortega, correcto.

**Marcos González Torres:** Okay, Okay, y Jimmy también te solicita eh pedir para concreto o eso ya es por aparte.

**Moisés Malespín:** Eh casi que el concreto lo piden ellos, lo solicitan ellos directamente, el concreto lo solicitan ellos, lo que es ya el resto de los materiales llámense eh eh materiales de madera, cemento, agregados, todo eso clavos, todo eso yo lo pasa por mis manos.

**Moisés Malespín:** Prácticamente que el ingeniero se encarga es casi con la cantidad de varillas cantidad, el resto de los materiales yo me entiendo con el maestro de obras me dice: "¿Malespín cómo vas?" yo soy todo encargado de ver lo que estamos en cómo estamos en stock en el proyecto, madera el resto de los materiales y después ya eso yo lo hago converso con Niger (Maestro de obras) y ya hago el pedido y con la varilla; sí el ingeniero me dice que cuántas cantidades, luego ya si ellos quieren que nosotros lo pasemos a kilos en el sistema; el sistema está en unidades ya especifica la varilla y cuántos kilos de varilla es ocupada

**Moisés Malespín:** Me dice, ahorita en este pedido anterior me dice eh este \*censurado\* de Jimmy me dice: Pídase 2000 varillas número 3 por 12 m grado 40 y me pide 1000 número 4 igual la misma medida, el mismo grado, entonces eh, pero escuché que me dijo Juan Carlos que teoría después tenía que montarlo a kilos ya entonces Jimmy me dio lo que es para más o menos es la conversión entonces yo la tengo anotadita.

**Marcos González Torres:** Eh sí porque ustedes bueno manejan tema de que es un pedido mínimo de peso porque son 25 toneladas correcto para que el viaje sea lo más rentable posible.

**Moisés Malespín:** De hecho, que ya es igualmente con las con madera estamos viendo que estamos pidiendo entonces hay también como una cantidad para que salga más cómoda con el precio de transporte.

**Marcos González Torres:** Okay, Okay, si una cantidad mínima.

**Moisés Malespín:** Okay, ya yo después, ya divido yo si en 2 por 3 e una por tres, una por dos, la idea es completar.

**Marcos González Torres:** Completar la cantidad para que sea rentable el viaje.

**Moisés Malespín:** Correcto así es, listo.

**Marcos González Torres:** Listo, sí, vos sos el encargado realmente del contacto con oficina para todo el tema de materiales y supongo que suministro de activos y demás; todo.

**Moisés Malespín:** Todo, todo eso sí, yo estoy aquí en eso a cargo.

**Marcos González Torres:** Listo, listo, Malespín, muchísimas gracias.

#### Finaliza entrevista

# Apéndice C

## Instrumentos para la Recolección de Datos (OE1)

Fecha de la entrevista: 10/9/2025

Entrevistador: Marcos González Torres

Entrevistado: Oscar Corrales

### Guía de entrevista para Director de Proyectos (Oscar Corrales)

Objetivo de la entrevista: Recopilar la perspectiva de un Director de Proyectos con amplia experiencia como Ingeniero Residente, para comprender los desafíos históricos y actuales en la planificación de materiales y el control de avance, y validar una propuesta de mejora basada en la metodología BIM.

### Guion de la Entrevista

#### Introducción (Guion sugerido)

"Hola Oscar, muchas gracias por tu tiempo. Como sabes, estoy con mi TFG y me interesa mucho tu perspectiva, no solo como Director de Proyectos en Guatuso, sino también por toda tu experiencia como Ingeniero Residente.

Mi proyecto se enfoca en diseñar un sistema de mejora para conectar los modelos BIM —en los cuales la empresa invierte mucho— con el día a día del trabajo del ingeniero residente, específicamente en dos procesos: la planificación de materiales y el control del avance. Me gustaría conversar sobre los desafíos en estos procesos y tu visión a futuro."

#### Bloque 1: Perspectiva como Ingeniero Residente

"Recordando sus años como ingeniero residente, ¿cuáles eran esos 'dolores de cabeza' o las tareas que más tiempo le quitaban en su día a día? Me refiero al proceso manual de planificar materiales, cubicar, o al tema de aprobar pagos y llevar el control con los subcontratistas."

#### Bloque 2: Perspectiva como Director de Proyecto

"Ahora, desde su puesto actual como Director, ¿cuál diría que es el impacto real —en costos, plazos o riesgos— de que estos procesos de cubicación y control sigan siendo tan manuales, dependiendo de hojas de cálculo y verificación manual en campo?"

"¿Actualmente cómo mide la 'salud' de un proyecto? Es decir, ¿qué tan fácil es tener una visión clara del consumo de materiales o del avance real versus el planificado?"

#### Bloque 3: Visión a Futuro y Validación de la Propuesta

"Mi propuesta busca diseñar un sistema para que el ingeniero residente pueda utilizar los modelos BIM directamente en estas tareas. Para que los ingenieros de verdad la adopten y no lo vean como más trabajo, ¿qué sería indispensable que tuviera la solución? ¿Qué debería tener esta herramienta para que el ingeniero no tenga un rechazo?"

"Más allá de la herramienta en sí, ¿cuál cree que es el mayor desafío para que los ingenieros residentes adopten nuevas herramientas? ¿Considera que es un tema de tiempo, de capacitación, o más bien una resistencia al cambio?"

Cierre

"Dino, Oscar, más bien agradecerte por el tiempo y por el espacio. Esto me va a ayudar a que la propuesta sea lo más realista posible. Muchísimas gracias."

### Transcripción de la entrevista:

#### Inicia entrevista

Marcos González Bueno Oscar, muchas gracias por tu tiempo. Como sabes, estoy con mi TFG, trabajo final de graduación, y me interesa saber mucho tu perspectiva no solo como director de proyectos en Guatuso, sino también como toda tu experiencia a lo largo de tu vida, digamos, también como ingeniero residente.

Mi proyecto ahorita se enfoca en diseñar un sistema de mejora para conectar los modelos BIM, en los cuales la empresa invierte mucho dinero, con el día a día del trabajo del ingeniero residente. Esto más específicamente en dos procesos: en la planificación de materiales y en el control del avance. Entonces quería conversar un poco sobre los desafíos y problemas que hay en estos procesos y una visión a futuro de estos.

Para esto separé la entrevista en tres bloques. El primer bloque es tu perspectiva como ingeniero residente. Recordando sus años como ingeniero residente, ¿cuáles eran esos "dolores de cabeza", por decirlo así, más grandes o que más te quitaban tiempo en tu día a día? Con esto me refiero a la hora de planificar los materiales como un proceso manual, ¿verdad? Y también el tema de aprobar pagos con subcontratistas, ¿llevar este tema de la planificación cómo lo hacías vos?

Oscar Corrales OK, muchas gracias por el espacio, Marco. Primero, con el tema de los materiales, siempre era un proceso inicial, había que correr al principio del proyecto porque hay dos categorías: materiales de importación (más que todo acabados o juntas sísmicas) que son urgentes, y los del día a día.

Por lo menos en mis tiempos de residente, hace 20 años que estoy en la empresa, las proveedurías no eran tan expeditas como ahora. Antes teníamos procesos muy largos de importaciones y no era tan fácil como "si llegó mal, devuélvalo". Había que tomar decisiones muy calculadas en cantidades, especificaciones, y entender muy bien cómo se iba a colocar.

Eso nos provocaba una curva de trabajo enorme al inicio. Había que sentarse a "volar lápiz" y las jornadas se volvían largas. Casi siempre estas labores las teníamos que hacer en horarios extra. Como residente, esa era una de las labores principales: revisar planos y planificar las compras.

El resto era el día a día. Los pedidos de varillas, que es un componente pesado económicamente. Hacíamos unos planitos de taller, planificábamos cortes, traslapes, y todo esto era una labor a lápiz. Lo más que uno podía hacer, en mi caso, era usar AutoCAD para hacer esos planos de taller, pero era sentarse a generarlos. Los planos de diseño no son planos de trabajo, uno tiene que ponerse realmente a ordenar la información.

Otra cuantificación diaria eran los concretos. La coordinación de pedir concreto premezclado, más que todo en coladas masivas. En mi caso, yo siempre le solicitaba al maestro de obras que él hiciera una medición y yo hacía mi medición por aparte para revisar. Comparábamos el resultado y si andaba muy lejano,

volvíamos a revisar, porque el concreto premezclado que sobra no tienes dónde colocarlo, básicamente es botarlo, y se vienen desperdicios importantes.

En resumen, sí teníamos un trabajo diario en cuantificación. Teníamos que ir al plano, revisar y verificar en sitio si realmente quedó exacto como estaba en el plano, porque a veces algo no queda igual, centímetros más, centímetros menos. Un centímetro en una pared de 100 metros te puede generar una cantidad enorme de material que no contabilizaste.

Para lo que me preguntas del tema de la planificación, para ser muy honesto, la planificación siempre ha sido un punto débil. Me gusta mucho planificar, pero el seguimiento se pone complejo porque el proyecto es vivo y depende de muchos participantes sobre los que no tenemos control absoluto. A veces, por más que uno quiera reaccionar, no es tan sencillo.

Se hace una planificación, un cronograma inicial, para tener idea de las fechas que necesitamos proveedurías o para los contratos. Pero el seguimiento es el que a veces se complica. La modificación de ese cronograma y los impactos, honestamente, ahí tengo un punto débil. Es empezar a moldear nuevamente el cronograma inicial con base en lo que realmente está pasando. Project sé usarlo, pero llevarlo y transmitirlo es lo que a veces veo difícil. Somos muchos participantes en un proyecto de construcción.

Marcos González Demasiadas variables detrás.

Oscar Corrales Exacto. Y no todo el mundo tiene la misma actitud. A veces es complicado vender esa necesidad de cumplir un cronograma. Aquí lo importante que yo casi siempre digo es que el proyecto no sufra: no sufra económicamente, no sufra en tiempo, no sufra en calidad, ni en gestión de seguridad o ambiente. Que el proyecto salga bien.

Marcos González Sí, claro, perfecto, entendido. Mira, ahora enganchándonos de eso, tu perspectiva como director de proyecto. ¿Cuál diría que es este impacto real, en costos, plazos o riesgos, de que estos procesos de cubicación y control sigan siendo tan manuales, dependiendo tanto de hojas de cálculo, planes de taller y validación en campo?

Oscar Corrales Yo no dejaría de involucrar al humano, es el que hace que las cosas pasen. Por más que tengamos esto muy automatizado, mi preocupación desde que la empresa viene implementando más tecnología es que nos relajemos pensando que la computadora lo está haciendo.

En el momento en que yo hacía esto, había un involucramiento con el proyecto, como que lo agarraba como personal y lo entendía mejor. A veces siento que eso es lo que puede estar pasando con los proyectos cuando ya salen modelados; entendemos que el proyecto ya está "entre comillas" resuelto tridimensionalmente. Hay muchos conflictos que el día a día de nosotros como residentes era ir a resolver "tortas" (que pegaba este tubo, que córralo para acá), y todo eso lo resolvíamos en el día a día. Ya eso no nos pasa.

Mi preocupación es que, si yo no me involucro de cabeza a entender los planos, voy a ir descubriendo el proyecto conforme avanza el plazo. No solamente es que la cuantificación sea buena, sino cómo lo voy a construir. Si yo me meto desde el principio a cuantificarlo a pie, empiezo a entender qué tengo que pedir y cómo lo voy a construir. Esa es una de las preocupaciones que tengo.

Yo creo mucho en el trabajo en equipo. Por eso sí creo que deberíamos involucrarnos en el proceso de construcción virtual, porque desde ahí empezamos a pensar.

En cuanto a la gestión, delegarla solo a eso creo que es una súper herramienta. En mi caso, ahora con mi puesto, no tengo la disponibilidad de estar todos los días en el proyecto. Entonces, para mí, tener una gestión en tiempo real de cómo va el proyecto me da una buena idea. No me gusta estar molestando mucho, "ay, vaya, averigüeme tal cosa". Si yo pudiera tener una herramienta automatizada que me diga más o menos por dónde va el proyecto, si lo estamos cumpliendo, sería un éxito.

Marcos González Sí, correcto, esa es la idea. Mi propuesta se va más enfocada hacia que el ingeniero residente pueda tener un apoyo, una herramienta ágil, automática e intuitiva para hacer su comparativa. Con el control del avance, que se hace a través de tablas, pero hay que ir a campo, yo esperaría que esta herramienta pueda darle una ayuda al ingeniero para llevar ese control un poco más rápido. Que sea una herramienta de apoyo, un primer paso hacia eso que vos decís de tener el proyecto controlado en tiempo real.

Y mira, actualmente vos como director, ¿cómo medís la "salud" del proyecto? ¿Qué tan fácil es tener una visión clara del consumo de materiales o del avance real versus el planificado?

Oscar Corrales Lo que se hace actualmente es un diagnóstico mensual. Para mi gusto, es un lapso muy largo; idealmente debería ser semanal. Lo que hacemos es una fotografía del estado de gastos contra lo que tenemos en costos de presupuesto. Me vengo a campo el día antes de que cierre el mes y digo "OK, de movimiento de tierra, vamos con el 20% de avance". Me voy al presupuesto, le pongo el 20% y me dice "avanzaste 20 pesos". Después hacemos una interacción con contabilidad, que nos dice "en movimiento de tierras vos has pagado 16 pesos". Entonces, en ese mes te ganaste 4 pesos.

El indicador es que el proyecto esté en positivo. Si empieza a arrojar valores negativos, puede haber dos efectos: un atraso en la facturación (lo que me indica es "póngase al día") o que haya errores de presupuesto que no hayamos detectado.

En proyectos de 12 meses como este, tenés solamente 12 oportunidades para corregir. Y la verdad es que tenés como la mitad del tiempo, ya después de la mitad usted va resbalado. Los controles nos indican si el problema está en movimiento de tierra, en obra gris, en materiales, y nos permite intervenir directamente.

Marcos González Perfecto. Mira, ahora pasando al último bloque, una visión a futuro. Mi propuesta busca diseñar un sistema para que el ingeniero residente pueda utilizar estos modelos BIM. Para que los ingenieros de verdad la adopten y no lo vean como más trabajo, ¿qué sería indispensable que tenga la solución? ¿Qué debería tener esta herramienta para que el ingeniero tampoco tenga un rechazo?

Oscar Corrales Separando por cuantificaciones, para mí lo que sí vería es que esté amarrado al presupuesto. Que, si quiero ver cielos, tengamos dividido por tipos de cielos, y que exista una etiqueta que me lo amarre. Que usted logre en su modelo ligarlo con una etiqueta o un ID de una línea del WBS (Work Breakdown Structure) del presupuesto. Si planificamos con un WBS que sea casi calcado con el presupuesto, entonces tendrías amarrado el tiempo, la línea de presupuesto y el modelo.

Ahí podrías hacer una integración de las tres cosas. Al final, la herramienta que tienen los residentes es Dalux. Si yo me meto y quiero aislar todos los cielos, es muy fácil. Para efectos de pedir

cotizaciones o hacerle el avance al subcontratista, la herramienta Dalux es súper útil. O sea, le diste un "confite" a la gente que es muy útil, entonces cómo decir "ya no vamos a hacerlo con esto", me parece muy difícil.

Marcos González Sí, correcto. Sería un primer paso. Y aquí amarro la siguiente pregunta: más allá de la herramienta, ¿cuál crees que es el mayor desafío para que los ingenieros residentes adopten nuevas herramientas? ¿Es un tema de tiempo, de capacitación o de resistencia al cambio?

Oscar Corrales Hay un tema de resistencia. Con la cuantificación no tanto; si usted le da una herramienta más ágil, no creo que no la usen. Pero la parte de planificación, y voy a hablar mucho por mi persona, realmente es una resistencia al cambio. A veces yo creo que incluso podría pecar hasta de pereza el tema de la planificación. Si tenés muchas cosas que hacer, lo último que vas a hacer es estar revisando Project.

Esto es un cambio de cultura total, un ejercicio de disciplina. Llevar la planificación al día, semanal mínimo, es lo que más nos da guerra. El reto es integrar algo que sea muy ágil.

Me lo estoy imaginando: usted tiene el modelo, le dice a Dalux "tíreme todas las etiquetas de movimiento tierra", y que en ese momento en Dalux pudieras hacerle un tipo check, una casilla donde yo le digo "este relleno del pabellón 5 ya lo tengo al 100%, pero el 4 lo tengo a un 80%". Pero lo estás viendo todo en el modelo y lo vas tocando, agregando información de avance. Si lo tuvieras ligado a un presupuesto y a Project, tal vez invite a que sea una vara más amena de llenar, más "vacilón", porque lo estás haciendo no desde el bendito Project, que todo el mundo ve mil líneas y es una herramienta tediosa.

La única cosa que me ofusca un poco con lo que tenemos ahora es con las cuantificaciones. Yo con Dalux no puedo tener una cuantificación total, "escórame todos los pisos y dígame cuántos metros cuadrados es". Tengo que ir tocando elementos y me dice "este elemento son 10, este otro son 5" y tengo que hacer una suma. Honestamente, yo eso no lo uso. Agarro mi AutoCAD y genero regiones, y así saco mis cuantificaciones. Pero entonces estoy dejando de aprovechar la herramienta. Si al final Dalux me dejara escoger toda la misma familia de piso y me diera un datito de suma, sería ideal.

Marcos González Sí, correcto. Ahí es donde quiero que mi propuesta pueda ir, que el ingeniero pueda tener de manera visual, pueda seleccionar, categorizar y que le pueda dar esas cantidades, y que él pueda utilizarlo como un apoyo.

Oscar Corrales Y de una vez te comento, eso sería súper útil para el departamento de adquisiciones estratégicas. Ellos sufren mucho, su trabajo inicial siempre es cuantificar al detalle, muy manual y con puros planos. En algún momento, la idea era aprovechar el departamento de construcción virtual para esa cuantificación. Es quitarnos estas labores que son pura carpintería.

Si realmente llegamos a confiar 100%, mejor le metemos un poquito más de recursos a hacer un súper modelo detallado, porque te vas a quitar un montón de trabajo del residente y de adquisiciones. ¿Para qué? Para aprovechar el tiempo de ellos en otro tipo de análisis, como la planificación, que es más difícil que un software la solvente. Es poner al humano a lo que realmente el humano tiene que hacer.

Es importante para mí concepto no quitar la intervención en etapas tempranas de los residentes y directores, porque es importante que el proyecto se empiece a entender desde el

inicio. Yo nunca voy a estar a favor de que nos den todo cocinado, más bien es cocinémolos juntos.

Marcos González Dino, Oscar, más bien agradecerte por el tiempo y por el espacio. Esto me va a ayudar a que la propuesta sea lo más realista posible, y no algo irreal o que lleve un sobre costo enorme. Muchísimas gracias.

## **Finaliza entrevista**

# Apéndice D

## Instrumentos para la Recolección de Datos (OE1)

Fecha de la entrevista: 9/9/2025

Entrevistador: Marcos González Torres

Entrevistado: David Garita

### Guía de entrevista para ingenieros residentes (David Garita)

El objetivo de esta entrevista es generar una conversación concisa para comparar experiencias y determinar si los problemas observados en Guatuso son comunes en otros proyectos de la empresa.

#### Guía

##### Introducción:

"Hola, ¿qué tal? Muchas gracias por tomarte el tiempo. Estoy haciendo mi TFG sobre los procesos de planificación y control en la obra. Ya estuve viendo cómo lo hacen en Guatuso con Jimmy, y ahora me gustaría entender cómo es la cosa en tu proyecto para tener una idea más completa."

"Te comento, mi TFG se trata de generar un sistema de implementación de la metodología BIM en estos procesos, esto principalmente busca que el ingeniero residente tenga una herramienta que le permita manejar los modelos y poder extraer información de este"

- **Bloque 1: Proceso de Planificación de Materiales**

"Allá vi que la planificación de acero y concreto es un proceso de ubicar a mano desde los planos, con una doble revisión con el maestro de obras. ¿Así funciona también en tus proyectos, o lo manejas diferente?"

"En tu día a día, ¿qué es lo que más te atrasa o te frustra de ese proceso para planificar los materiales?"

- **Bloque 2: Proceso de Control del Avance de Obra**

"Para el control del avance, el método que vi es usar tablas de pago en Excel que se llenan a mano, una para la inspección y otras para cada subcontratista. ¿Es igual en tu caso?"

"Hablando de los subcontratistas, ¿cómo ha sido tu experiencia en general con ellos? Me refiero al proceso de revisarlos el avance, aprobarles los pagos... ¿suele ser un proceso fluido o es donde normalmente aparecen los problemas?"

- **Bloque 3: Perspectiva sobre BIM y Propuesta de Mejora**

"Actualmente, ¿para qué usas los modelos BIM o herramientas como Dalux en la obra? ¿Más que todo para ver planos o le das algún otro uso?"

"Si tuvieras una herramienta en la tablet, conectada al modelo, que te ayudara a sacar cantidades o a certificar el avance más

fácil, ¿crees que te serviría? ¿Qué sería lo más importante para ti en una herramienta así?"

- **Cierre:**

"Te lo agradezco un montón. Entender cómo funciona en otros proyectos me sirve muchísimo para el TFG."

### Transcripción de la entrevista:

#### Inicia entrevista

**Marcos González:** OK, estoy grabando. Aquí está un registro nada más de la semilla. Vamos a ver. ¿Está grabando? Bueno, muchas gracias. Ahorita estoy haciendo el TFG, digamos, de usted, el trabajo final de graduación con estructuras. ¿Está enfocado un poco hacia los ingenieros residentes, cómo ellos pueden utilizarlos, información en campo, digamos, a grandes rasgos, ¿verdad? Esto más que todo sobre los ingenieros residentes. Creo que entró algo de notas.

**David Garita:** Es la nota, es correcto, Sí, sí, noto bien.

**Marcos González:** Estoy haciendo mi TFG sobre los procesos de planificación, control de obra, ya estuve viendo cómo se hacen acá en Guatuso, pero, me gustaría entender cómo es la cosa, como proyecto, ¿cómo lo manejan de manera, ¿verdad? Pero bueno, te comento. Mi TFG, maestro, trata de generar un sistema, un sistema de implementación de la metodología BIM en los procesos de planificación y control de obra macro. Lo que busca principalmente es que el ingeniero residente tenga una herramienta que le permita manejar los modelos y extraer información de este, sin deber tener una licencia, más que todo sea un apoyo, no sea una molestia y tener un modelo incomodando. Quería más que todo mala entrevista, digamos, en las tres bloques, con dos preguntas por bloque, algo sencillo, no debería ser muy complicado. Todo bien, ¿Qué más? Primero que todo, Ma, mucho gusto. Yo creo que te conocí un poco ahí de la charla.

**David Garita:** Sí, sí, en estructuras. Sí, sí, ese día en realidad, qué te digo, yo tengo aquí como yo entré para ese proyecto en febrero del año pasado, fue como poco más de año y medio, pero sí, siempre había sido residente antes, digamos, estructura, edificar, estudio, con tiempillo así de ahí en lo que te pueda ayudar.

**Marcos González:** Listo. Listo, perfecto. ¿No me hace la idea poder llegar información, verdad? Bueno, Ma, entonces el primer bloque, proceso de planificación, planificación de materiales, acero concreto, como la cuantificación, la cubicación. Entonces la primera preguntilla, por ejemplo, aquí estoy viendo planificación del acero y concreto, es un proceso a mano, que esto se da a partir de los planos, digamos, con una doble revisión incluso a veces por parte del maestro. ¿Vos en tus proyectos también lo manejas así o lo manejas diferente?

**David Garita:** Sí, o sea, por lo general, bueno, cuando es a cero siempre se hace como un despiece y a partir de eso, bueno, se va haciendo la solicitud. También uno se apoya en lo que tenían calculado en presupuestos, entonces uno se toma el valor de presupuesto, se notifica todo y ya luego se verifica que estén bien las cantidades y se va pidiendo conforme se va utilizando el tema del concreto, ya una curva concreta de más o menos cuánto se va a ir utilizando por por avance y a partir de eso se hacen las programaciones y ya en sitio se termina de afinar el dato y se cuica con maestro de obras en sitio. Eso es un poco más sencillo. Igual con la parte de acero, dependiendo si es subcontratista o si es personal directo a cargo. Si es con personal subcontratado, por lo general hay un capataz de la parte de

armado y ahí se hace una lista de verificación para también hacer la solicitud de material.

**Marcos González:** Y mira maestro que se hace en el día a día y demás. Algún factor digamos, o algún tema que te atrás frustre en estos procesos, principalmente en el platicar de los materiales, algo que molesta tal vez genera atrasos o demás.

**David Garita:** Digamos. Con el acero no tanto porque el acero se le compra directamente a la empresa que lo provee, digamos ya Arcelormital o no sé, al que sea y se hace una programación para que cuente con el acero. A no ser, me ha pasado en otros proyectos que por ejemplo hay un aumento de precio y se tenga que hacer una solicitud anticipada, dice se tiene que correr para hacer una cuantificación y pedirlo porque el precio varía por así decirlo, porque el acero tiende a hacerlo. En el caso del concreto, es el caso del concreto cuando se están obra gris es un poco más del día a día, ahí no va a haber tantas variaciones. Y en cuanto a planificación sí se tiene que hacer solicitudes previas para que te puedan programar los volúmenes que necesitas, participación para que la coquetera es todo OK, digamos, y ellos te puedan dar ya sea la bomba telescópica, lo que sea, pero nada más es eso, es planificar con tiempo, con la persona que te vende, el vendedor y hacer un cronograma semanal digamos. Pero no hay mayor detalle, si usted lo programa de forma anticipada no debería tener problemas a no ser que haya.

**Marcos González:** Un error en.

**David Garita:** El proceso.

**Marcos González:** OK, digamos que eso fue más o menos la parte de planificación. Ahora con el control del avance. Para el control del avance más o menos el método que dije acá en Guatuso es que es a través de unas tablas de pago normalmente, generalmente en Excel, que éstas se llevan a mano, bueno, es una tabla general, digamos, el tema de la inspección y otra para cada subcontratista. ¿Vos lo manejas igual?

**David Garita:** Vamos a ver, hay dos cosas ahí. Una es control de avance, o sea, el avance de proyecto yo lo llevo en Project, digamos, semanalmente. Hay un Project Maestro, digamos, y a partir de ahí, desde el inicio, se van programando semana a semana, yo por lo menos lo hago así. Entonces toda la semana se va actualizando, se va actualizando semanalmente. No necesariamente tiene que ver, depende del proyecto, no necesariamente ese porcentaje de avance tiene que ver con el porcentaje de pago que te hace el cliente. Aquí se llevan tablas de pagos, una tabla de pagos con el cliente que se revisa con la inspección para que se nos hagan los depósitos a nosotros. Y nosotros como ingenieros, digamos, de estructuras, hacemos tablas de avance separadas para cada uno de los contactos, como lo decís. Entonces, ese avance sí se calcula a partir de, ya sea del Project o del avance que uno vaya viendo durante el proceso. Entonces, por ejemplo, el contratista de paredes, entonces se hace una tabla general a partir del contrato, se divide por rubros y se va pagando quincenalmente. Entonces, por ejemplo, paredes livianas de un tipo de ensamble tiene un 80% avance, cielos de tal tipo tienen 20% avance. Entonces a partir de eso se va jalando esos porcentajes hasta terminar la tabla. Y eso es así con la mayoría de contratistas, con el contratista pintura, con el contratista de pisos y demás. En el caso del cliente es igual un Excel, pero eso sí es a partir de unas líneas específicas, por ejemplo, muros, pisos, techos, enchapes, paredes. Entonces se le va poniendo un porcentaje, ese porcentaje lo aprueba al cliente o la inspección y eso es lo que se factura.

**Marcos González:** OK, no, no, perfecto.

**David Garita:** Y es en Excel.

**Marcos González:** Sí, sí, sí, correcto. No, aquí es igual para conocer, digamos. Y ahora enganchando, Maestro, con el tema de los contratistas, hablando de ello, ¿Cómo ha sido maestro experiencia general? Maestro, más que todo me refiero al proceso de revisarles el avance, aprobar. Tampoco me refiero más que todo a revisarles el avance, aprobar los pagos. ¿Este proceso, digamos, suele ser fluido o es donde normalmente aparecen problemas?

**David Garita:** Depende del contratista. Normalmente, digamos, hay contratistas en los que casi que hay que hacerles todo el trabajo, por ejemplo, hacer, montarles hasta la tabla de avance y uno pone los porcentajes y uno le dice ma se tiene tanto avance. Entonces con ellos es normalmente fluido, porque no hay objeción. Con algunos te montan la tabla avance, te la mandan y la revisan, que sería lo usual, digamos. Y normalmente hace uno una revisión y compara con lo que está hecho o con el proyecto, si no hay tema, se da la aprobación y a partir de eso se hace la prefectura y se envía para que ellos facturen. No es un proceso tan tedioso. Con algunos subcontratos es un poco más tedioso. Por ejemplo, movimiento de tierras. Las facturas de movimiento de tierras suelen ser un poco tediosas a la hora de calcular cuánto es el avance. Otra cosa tal vez puede ser pintura. La forma de aprobar los avances de pintura puede ser de varias formas, a partir de áreas, a partir de aposentos. Antes, yo no soy tan viejo, pero antes uno tenía que ir con una cinta a medir pared por pared, viga por viga, lo que se llama, y se iba apuntando literal. Y a partir de eso sí se hacía el cálculo. Por ejemplo, movimiento de tierras, yo tuve un proyecto bastante grande, donde el cálculo todos los volúmenes los hacíamos así. Yo me iba con el capataz de Macoma, medíamos más o menos áreas, volúmenes, lo que sea, poníamos volúmenes, firmamos y así era el avance de Dios. En este proyecto específico mío, yo no tenía movimiento tierra, sino tenía obra gris, todo era acabado. Entonces, por ejemplo, la parte de paredes, cielos y demás, yo tenía una hoja de Excel en la que yo iba calculando porcentaje de avance, por ejemplo, yo lo dividía una pared, por ejemplo, 30% estructura, 30% forro y 40% acabado. Entonces todo lo tenía así estructurado. Entonces yo montaba una tabla general con todos los metros cuadrados de paredes y con todos los ensambles. Entonces yo decía, el piso 1 hay un 80% de paredes completas, entonces ese 80% paredes completas corresponde a el 100% de la estructura y el 100% del forro. Entonces eso equivalía a un 60% y me queda un 40% restante que sería el acabado. Entonces así lo hacía yo todo en Excel, digamos. Pero es variable, digamos.

**Marcos González:** Sí, sí, sí, es variable dependiendo de.

**David Garita:** Lo Puede llegar a ser muy tedioso, puede llegar a ser muy tedioso o puede llegar a ser muy fácil, dependiendo del comportivo.

**Marcos González:** Claro, perfecto. Bueno, vamos a ver el bloque 3 más o menos una perspectiva sobre BIM, sobre la propuesta de mejora. ¿Actualmente vos utilizas estos modelos BIM o herramientas como Alux en la obra? Más que todo. ¿Y esto lo usas para ver planos o le das algún otro?

**David Garita:** Yo digamos, bueno, no sé si Anthony comentó, pero aquí antes, bueno, la empresa no utilizaba una herramienta que está Andalux, yo he utilizado Procor en muchos proyectos, pero en otras empresas como Edificar, en Adican Pro, también utilizan las herramientas para hacer ponches. Eso es demasiado útil. Aquí hasta este proyecto se implementó eso, que

básicamente es lograr hacer observaciones en planos, y cuando digo observaciones pueden ser observaciones de todo tipo, más correcciones, fotos de avance, puntos de mejora, no conformidades, o incluso ya en la etapa final del proyecto una lista ponchis. Obviamente vos sabes qué se hace al final del proyecto para hacer una lista de verificación de que todo está bien y si sale algún detalle, bueno, se queda como un punto abierto y hasta que se repare se cierra. Eso es demasiado útil, digamos. Yo siempre lo he utilizado en otras empresas, y aquí lo utilicé en este proyecto por medio de Alux, que te permitía hacerlo de esa forma, imprimir al final un informe de verificación, y ese informe se hace con el ingeniero, inspector o con el arquitecto, lo que sea, y eso es un documento oficial que funciona para respaldar que vos hiciste el poncheo con el arquitecto. Para mí es demasiado útil en ese sentido todo. En la parte de planos también se utiliza mucho aquí el maestro de obras y el segundo tiene una tablet y con eso se vean detalles. En la parte de obra gris pues se usa, pero en la parte de acá se utiliza aún más, sobre todo cuando tenés tantos sistemas electromecánicos. Aquí al ser un hospital, los sistemas electromecánicos eran gigantes, toda la partería, la parte de incendio y demás tenía que ir muy bien detallado con el tema de cielos y paredes. Entonces sí, fue bastante útil. También lo usábamos para de noma cargar planos de taller de contratistas, porque no todos los planos ustedes lo generan o im los gener se le pedían planos de taller a los demás contratistas, entonces todo se iba cargando ahí. Tabla de puertas. Sí, sí, todo se carga. Entonces aquí sí se usó durante todo el proyecto.

**Marcos González:** Sí, sí, sí, no, no. Y mira, ahora hablando de eso que mencionaste, las tablets de iman, ¿Vos crees que, si vos tuvieras un modelo conectado, por ejemplo, ¿Te serviría Mae, un modelo con el fin de que puedas obtener cantidades o poder certificar? ¿Esa crees que te serviría o más?

**David Garita:** Definitivamente no, no, definitivamente. En algún momento yo lo traté de hacer con Anthony, digamos al inicio de sacar algunas cantidades con Dalux por ejemplo, yo le decía ma, deme las áreas de pintura. Entonces, por ejemplo, ya yo sé que yo tenía un contrato establecido contratista de tantos metros cuadrados de pintura y yo tenía como un cálculo de cuánta área en cada posento. Lo que pasa es que cuando se empiezan a hacer cambios tenés que empezar a cuantificar y cuantificar si el modelo te permite dar esa cantidad específica, ya sea por piso, por aposento, no se te facilita las cosas un montón. En el caso de paredes también te lo facilita, que te dé metrajes o que te dé cantidades sería lo ideal. Pero sí, sí funciona un montón.

**Marcos González:** Perfecto, ¿No? Más o menos por ahí va de hecho mi propuesta, esperar que ustedes puedan tener en campo una herramienta que les permita extraer eso, las cantidades, toda su información, el modelo está ahí, pero construcción digamos, no funciona mucho. Más o menos por ahí andaba la entrevista más bendita. Agradezco mucho y me confirmaste un montón de cosas más o menos cómo se manejan y demás. Y principalmente ese tema sobre la herramienta Maestil, eso es muy útil. Vos me comentaste que ahora ya lo han intentado.

**David Garita:** Sí mae, sí, sí, digamos ahí tratamos como de que me fuera sacando algunas áreas que yo al final sí utilicé mañana, pero la ideal sería poder utilizarlo en todos los proyectos, no sé si los demás lo hicieron, no sé si los demás lo de la misma forma, pero sí sería gran ayuda. Eso te facilita un montón de cosas importante, te facilita la función del ingeniero residente, mucho de revisión en sitio y al estar, o sea, tener un respaldo un poco ahí en la parte de oficina o quizá un poco más ágil, un poco más de chance de ir y hacer verificaciones en campo, que sería lo ideal. Entonces todo su ayuda.

**Marcos González:** Perfecto, no nomás, perfecto. Y no más, muchas gracias por el tiempo, generarles algo que les funcione, que se pueda aplicar principalmente. Nada más que agradecer.

**David Garita:** Buena nota, Pura vida. Un gusto.

# Apéndice E

## Instrumentos para la Recolección de Datos (OE1)

**Fecha de la entrevista:** 11 de setiembre de 2025

**Entrevistador:** Marcos González Torres

**Entrevistado:** Edwin Hernandez

**Guía de entrevista para Ingeniero Residente (Edwin Hernandez)**

**Objetivo de la entrevista:** Recopilar la perspectiva de un Ingeniero Residente sobre los procesos actuales de planificación de materiales y control de avance. Se busca comparar sus métodos con los observados en otros proyectos (Guatuso) y validar la necesidad de una herramienta BIM que agilice la extracción de cantidades y el registro del progreso en obra.

### Guion de la Entrevista

#### Introducción (Guion sugerido)

"Hola Edwin, gracias por tomarte el tiempo. Te comento, estoy haciendo mi TFG con Estructuras. Está enfocado en los procesos de planificación de material (acero, concreto) y el control de avance que ustedes hacen en obra.

He visto en Guatuso que el proceso es muy manual y consume tiempo. La idea de mi TFG es diseñar un sistema para que ustedes puedan usar los modelos BIM existentes y sacarles más provecho, por ejemplo, para extraer cantidades o llevar un control de avance más visual desde una tablet o computadora. Quería conversar con vos para entender tu proceso y ver si es parecido en toda la empresa."

#### Bloque 1: Proceso de Planificación de Materiales

"Para empezar, acá en Guatuso vi que la planificación de acero y concreto es un proceso de ubicar a mano a partir de planos, que a veces requiere una doble revisión con el maestro de obras. ¿Así es como lo hacés vos o tenés otra forma de hacerlo?"

"Hablando de este mismo proceso de planificación manual, ¿hay algo que te atrase o te frustre? ¿Algo que te haga pensar 'mae, podría ser más fácil si tuviese una herramienta para ver el modelo 3D y poder tomar el dato más rápido'?"

"Entonces, ¿estarías dispuesto a utilizar una herramienta que te permita seleccionar elementos en el modelo (como un contrapiso y unas columnas) y poder extraer la información de volúmenes directamente?"

#### Bloque 2: Proceso de Control del Avance de Obra

"Pasando al bloque 2, el control del avance. El método que vi que usan es a través de tablas de pago en Excel, que se llenan a mano. Una para la inspección general y otra por subcontratista. ¿Vos lo manejas igual?"

"Hablando de los subcontratistas, ¿cómo ha sido tu experiencia general al revisarles el avance o aprobarles los pagos? ¿Suele ser un proceso fluido o es donde normalmente se generan trabas?"

"Y este control, ¿cómo lo manejas? ¿Es mensual, te adaptas al proyecto, llevás un control semanal?"

### Bloque 3: Perspectiva sobre BIM y Propuesta de Mejora

"Ahora, sobre la metodología BIM. ¿Vos actualmente para qué usás los modelos? ¿Usás alguna herramienta (Dalux)? ¿Es más que todo para ver planos o le has encontrado usos más prácticos, como revisar colisiones o cuantificar?"

"Última pregunta: si tuvieras una herramienta (en la compu o tablet) conectada al modelo, que te ayudara a sacar estas cantidades o a certificar elementos construidos para controlar el avance más rápido, ¿qué característica sería la más importante para vos? ¿Que sea rápida, intuitiva, fácil de usar?"

### Cierre

"Buenísimo. Nada más que agradecerte por ayudarme a entender cómo funciona en otros proyectos. Al final, cada quien tiene una perspectiva diferente."

### Transcripción de la entrevista:

#### Inicia entrevista

**Marcos González** Más bien gracias por tomarte el tiempillo. Te comento, es que estoy haciendo mi TFG con estructuras, ¿verdad? Y este TFG está enfocado en los procesos de la planificación del material, digamos, acero, concreto y demás, y con el control del avance que hacen ustedes en que esto en obra, ¿verdad?

Ya yo estoy aquí, digamos, en Guatuso con. Y estoy viendo más o menos el proceso que hace GYM y demás y el trabajo de fondo que es la planificación del concreto, del acero y demás, ¿verdad? Y también el control de pagos con subcontratistas para el avance. He visto ma, es bastante manual y consume tiempo.

Entonces la idea es que TFG, bueno, se trata más que todo diseñar un sistema para que ustedes puedan usar los modelos BIM que ya existen, digamos, los que se realizan y sacarles más provecho directamente ya en la ejecución de la obra, por ejemplo, para extraer las cantidades o llevar un control del avance de una forma más visual y rápida desde la propia herramienta, sea una tablet, una computadora, eso está. Habría que definirlo ya cuando implementa la mejora.

Por eso quería conversar básicamente con vos, lo manejas vos en tus proyectos y demás, y así tener una idea más completa de la problemática o no problemática como del proceso y a ver si es parecido en toda la empresa.

**Edwin Hernandez** Sí, no sé, usted me dice por dónde empezamos.

**Marcos González** Yo separé la entrevista por tres bloques, digamos. El bloque uno es el proceso de planificación de materiales. Entonces hay un par de preguntillas. La primera es que acá en Guatuso vi que la planificación de acero y concreto es un proceso de cuantificar a mano, de ubicar a mano a partir de planos y que esta muchas veces, o a veces se tiene que tener una doble revisión con el maestro de obras como para ver que no esté fallando, no haya un error humano detrás, ¿verdad? Entonces me preguntas más o menos si así lo hace, así es como lo hacen vos o si tiene otra forma de hacerlo.

**Edwin Hernandez** OK, vea ma, es que hay elementos de... Hablemos de acero, digamos, ¿cómo cuantifico yo el acero? Yo hago siempre, o siempre que el espacio me lo permita, hago un

pedido inicial de acero y para hacer ese pedido inicial agarro las cantidades del presupuesto y tal vez pido un 80% del total y pongo eso en el proyecto, en algún lugar y con eso voy trabajando y eventualmente hago un par de ajustes al final del proyecto, cuando ya se gasta eso, ¿verdad? Pero esa es la manera más sencilla porque no tenés que estar pidiendo poquitos, entonces no tenés que estarte preocupando que te falte varilla. Esa es una de las formas en que yo pido el acero.

**Marcos González** OK, pedís un 80% del acero, digamos, total, trabajando y haciendo ajustes conforme vas avanzando.

**Edwin Hernandez** Sí, pero los ajustes casi siempre son ya bastante adelante, porque si pediste un 80% tenés en buena teoría eso ya se contabilizó. El problema son las órdenes de cambio, si te empiezan a cambiar cosas de planos, ahí empezás. Entonces por eso yo me dejo un factor de seguridad, no pido el 100%, pido un 70, un 80, algo así, ¿ves? Igual si uno ve que tiene muchas órdenes de cambio y que cambió mucho respecto a los planos de licitación, entonces mejor lo analiza de nuevo, ¿verdad?

¿El instinto siempre está sobre cualquier procedimiento, verdad? Entonces lo que te quiero decir es que es muy difícil establecer un único procedimiento para las cosas porque siempre tienes que analizar cuál es el entorno, ¿verdad?

Bueno, con respecto al acero, con respecto al concreto, hay cosas muy fáciles de calcular. Por ejemplo, si está chorreando cimientos, usted tiene las dimensiones de la placa. Si está chorreando sin formaleta, puede haber una variación por los cortes en el terreno. Si está chorreando con formaleta es muy exacto y no es nada difícil. Pero digamos, si vas a chorrear un entrepiso, eso se las trae, porque hay muchas vigas que se llenan en conjunto con el entrepiso, hay secciones de columna que tal vez están sin colar que se llenan en conjunto con el entrepiso.

**Marcos González** Se trata de hacer una sola pieza.

**Edwin Hernandez** Hay cargadores de puerta que se colan en simultáneo con el entrepiso, eso ya es diferente. Te voy a decir qué es lo que hago yo cuando chorreo entre pisos. Yo hago mi cálculo y el maestro hace el suyo. Este yo lo hago en planos y el maestro lo hace en sitio. El maestro lo hace a pura cinta. Tenemos los dos números y entonces yo los analizo a ver cómo anda uno con el otro.

Entonces, qué sé yo, si entre el maestro y yo sacamos un promedio 48 metros cúbicos, yo le digo a la concretera, cárgueme 40 metros cúbicos y déjeme un ajuste. Le digo, no, el volumen confirmado en este momento de 48, pero de momento cargue solo 40. Entonces yo espero a que la descarga de esos 40 vaya bien adelantada, ojalá descargar los 40 y si estoy cerca a la planta, pues pido un ajuste del volumen que me falte. Llenar cosas... es muy fácil calcular un ajuste, digamos, porque ya tenés una superficie plana.

Creo que ese es el caso más difícil, los entrepisos, porque un contrapiso es bastante sencillo, entonces digamos que no hay método único. Los contrapisos siempre los pido de un solo el volumen que calcule. Igual hay variaciones... pero digamos que esas variaciones todavía uno las puede acercar bastante bien.

**Marcos González** ¿Miraba, hablando de esto mismo, tal vez dentro de estos procesos de planificación, hay algo que te atrase, digamos, o que te llegue a frustrar del proceso manual, que vos digas, "mae, podría ser más fácil si tuviese una herramienta para ver tal vez el modelo 3D y poder, no sé, tomar el dato más rápido"?

**Edwin Hernandez** No, no, pues los modelos sí los uso mucho yo ahora, nosotros no usamos Revit, usamos el Dalux, ¿verdad? Que es una versión limitada del modelo. Algunas veces que tengo que pedir estructura para techo, tubos de la estructura techo... le pido a veces a Anthony que me lo calcule rápido en el modelo. Digamos que sí recorro a esos recursos, pero no todos los puedo hacer yo directamente y si lo hago tendría que ser muy a pata.

Hay otra forma muy fácil que es teniendo un *take off*, que medís las varas en dos toques y haces un cálculo rápido, pero el *take off* no lo tenemos todos tampoco. Y cuando lo he tenido sí me facilita muchísimo la vida, porque si tengo que pedir todos los tubos de la estructura techo, es simplemente pasarle rayas al plano encima y puedes tener la longitud exacta. En estos últimos proyectos lo que estaba haciendo es que Anthony termina el modelado y de una vez me deja una tablita con las cantidades de tubo ahí. Eso fue como un acuerdo entre él y yo que me ha ayudado mucho. Pisos en realidad es muy fácil de medir, en el mismo Dalux lo mide uno. Cielos. Todo eso se puede medir en Dalux sin problema.

**Marcos González** Tener la visualización, digamos, tener una especie de modelo 3D que vos puedas seleccionar el elemento y poder extraer la información directamente ahí. Si vos seleccionas por ejemplo, el contrapiso, y seleccionas un par de columnas que vas a hacer ese mismo día, entonces vos decís, más o menos la estimación me dio 15 metros cúbicos... ¿estás dispuesto a utilizar esta herramienta?

**Edwin Hernandez** Sí, sí, mae, te soy sincero, yo he venido cambiando mucho mis metodologías conforme han avanzado los años y tenemos más herramientas. Te puedo decir que cuando empecé yo medía todo en Autocad, más después ya casi ni le dan planos en AutoCAD a uno. Entonces también hay que tener forma de medir. Si solo tenés PDF, o se mide en Dalux o se mide en PDF, más hasta con el Adobe he tenido que medir. Pero ahora, como te digo, muchas cosas las saco directamente del modelo para pedir, para ejecutar. El acero lo aproximo con el presupuesto.

Mae, cuando le reviso acero al contratista de armadura, eso sí es un toque más complicado. Lo he hecho desde calcular varilla por varilla hasta establecer una tabla de pagos con la cantidad total e irle dando avance, digamos.

**Marcos González** OK, ahí es donde, me disculpa, entra ya el bloque 2, que es el proceso de este control de avance. Control del avance, método que vi que al menos se utiliza acá y ha utilizado Oscar, es a través de tablas de pago en Excel, memoria de cálculo, que normalmente se llenan a mano.

*(Breve interrupción por problemas de audio)*

**Marcos González** OK, sí, es que tuve que cambiar de red. Sí, mira, quedamos en el bloque 2, en el proceso del control del avance. El método que vi que usaban al menos aquí en Guatuso, y más o menos me comentó también David y Oscar, es el tema del uso de pagos a través de tablas en Excel. Normalmente se quedan a mano, una para la inspección general y otra por subcontratista. ¿Vos lo manejas igual a través de tablas de pago?

**Edwin Hernandez** Sí, igual, igual hay cosillas que bueno, digamos pisos, cielos y eso, no hay pérdida, vos sacas las áreas y listo. Sí, por ejemplo hay cosas que yo reviso más a detalle, por ejemplo la pega de bloques, yo lo mando a contar en sitio, honestamente.

**Marcos González** Una persona, digamos, a verificarlo manualmente. Tal cual.

**Edwin Hernandez** Sí, o lo hago yo.

**Marcos González** Ah bueno, sí, también. Ahí es donde entra la herramienta, podría servirte bastante.

**Edwin Hernandez** Exactamente. Y esto lo prefiero contar porque muchas veces te queda un paño de bloques pequeño y el maestro prefiere chorrearlo, entonces si eso empieza a pasar mucho, la cantidad de bloques se disminuye, ¿verdad? Entonces tal vez vos tienes un área de mampostería y que termina siendo menos.

**Marcos González** Esas pequeñas que dice uno que al final vale más chorrearlo completo que tirar una sola hilada.

**Edwin Hernandez** Exacto. Entonces eso yo normally sí lo cuento.

**Marcos González** Podría haber un doble... estarías pagando por la mampostería, pero se hizo de otra forma.

**Edwin Hernandez** Correcto. Prefiero contarlo y me resulta bien y me he dado cuenta que disminuyo la cantidad esperada.

**Marcos González** OK, OK. Y hablando ahora de los subcontratistas, ¿cómo ha sido tu experiencia general con ellos? Refiriéndome a revisarles el avance o aprobarle los pagos. ¿Esto suele ser un proceso fluido o es donde normalmente se generan trabas?

**Edwin Hernandez** No, no, es fluido.

**Marcos González** A través de las mismas tablas de pagos usted va desenvolviendo en ese control del avance. OK. Y mira, ¿cómo controlás vos esto? ¿De manera mensual o te adaptas al proyecto o llevas un subproceso semanal?

**Edwin Hernandez** No, normally lo hago quincenalmente, a todos los subcontratistas le hago un avance quincenal y el avance de nosotros para el cliente normally es una vez al mes.

**Marcos González** Una vez al mes. OK. ¿Vos manejas diferente, digamos, el avance de los subcontratistas?

**Edwin Hernandez** Sí, hay subcontratistas que se les hace una vez al mes, por ejemplo los electromecánicos y los de aire acondicionado, los subcontratos grandes. Y con estos lo que uno hace es que le pasan su propuesta de avance y la misma propuesta que ellos le pasan uno la incluye en la tabla general que le manda la inspección. Entonces si a mí me aprueban el avance tal cual, yo se los apruebo a ellos, así de sencillo.

**Marcos González** OK, OK. Sí, me imagino que lo verificas, como dijiste que vas a contarlo. Por ejemplo las áreas de mampostería o los bloques.

**Edwin Hernandez** Sí, hay cosas como los bloques, es un caso especial, pero hay cosas que sí es muy fácil, digamos los pisos. Hay que cuidarse un poco hacia el final de los avances, ¿verdad? O cuando determinas que algo cambió.

**Marcos González** Listo. Mira, ahora el bloque 3, más o menos una perspectiva sobre la metodología BIM en general. ¿Vos actualmente para qué usas los modelos? ¿Lo utilizas a través de una herramienta? ¿Esto lo haces más que todo para ver los planos o has encontrado usos más prácticos?

**Edwin Hernandez** Bueno, lo uso desde la revisión de avance en sitio, qué sé yo, ver si una tubería va bien, si hay opciones de

mejora, etcétera, hasta revisar medidas de ejes, o incluso revisar en campo el avance de lo electromecánico. Si tenés todo modelado ahí puedes hacer cortes y ver si la tubería va en la posición correcta, por ejemplo. O muchas veces se recurre a esto cuando ya existe un problema, que el del ducto chocó con el de la tubería de aguas negras. Entonces, revisar el modelo a ver quién fue el que no respetó las posiciones.

O incluso lo usamos mucho en reuniones con inspección para definir opciones de mejora. Si hay una tubería que está muy atravesada y a uno se le ocurre algo mejor, pues a veces incorporamos a Anthony a la reunión y se modifica el modelo en una reunión en vivo ahí para ver si el inspector está de acuerdo.

Lo uso también para cuantificar cosas. Te voy a poner un ejemplo... (*comparte pantalla*)... por ejemplo, ayer que pedí el concreto de un contrapiso, lo hice tan sencillo como esto. Ahí señala el área, nada más metí a la tabla de cantidades, aquí está el área y con esa área hice el pedido del concreto. Bueno, aquí no están incluidos estos dos baños, ¿los ves?

**Marcos González** Correcto.

**Edwin Hernandez** Nada más hice una suma de eso más esto y ya está, y pedí.

**Marcos González** Solo bueno. De hecho, qué dicha que se le está dando un uso más allá de simplemente la visualización. La propuesta yo espero que logre que se usen estos modelos para justamente eso, facilitarle al ingeniero residente el trabajo, no solucionarle la vida, sino darle más herramientas para hacerlo de una mejor forma, extraer volumen y no estar perdiendo tiempo en cuantificaciones tan a pata, o poder hacerlas y tener un punto de comparación.

**Edwin Hernandez** Sí, exactamente. Este mae, lo uso hasta para ver cosas con los contratistas. No sé, que el mae del techo tiene dudas, hago un corte, saco elevaciones, le doy instrucciones al maestro. Es muy fácil.

**Marcos González** Genial. Mae, última pregunta de ese bloque. Si vos tuvieras una herramienta, ya sea en la computadora, en la tablet, conectada al modelo, que te sirva para sacar estas cantidades o para certificar elementos... esto me refiero a elementos ya contruidos, inspeccionados por vos, que vos digas "OK, ese elemento ya está listo", para controlar este avance de una forma más rápida. ¿Qué característica dirías que es como la que podría agregar más valor? ¿Que sea rápida, intuitiva, fácil de usar?

**Edwin Hernandez** Yo digo que lo importante es una herramienta que trabaje en una plataforma sencilla. A veces usamos programas muy viejos que hay que instalar una máquina virtual en la computadora y todo para que la corran. Debería ser algo tan sencillo como ojalá abrir la tablet y tener la aplicación ahí, o abrir un programilla aquí, y ya está. Si tenés que empezar a correr una máquina virtual y todo eso, ya se vuelve un toque pega, ¿me entiende?

**Marcos González** Sería algo más actualizado. Yo espero, por eso estoy tratando de operar algo que se pueda fijar, que no sólo se quede en papel. Digamos que aquí Guatuso va a servir medio conejillo de indias, porque va a ser posiblemente el prototipo, el proyecto piloto. Yo esperaría poder llevar esta ayuda a más maestras en un futuro. No, no, buenísimo. Nada más que agradecerle por ayudarme a entender cómo funciona en otros proyectos. Al final Jimmy tiene una perspectiva, vos tenés otra perspectiva.

**Finaliza entrevista**

# Apéndice F

Instrumentos para la Recolección de Datos (OE1)

**Fecha de la entrevista: 11/9/2025**

**Entrevistador: Marcos González Torres**

**Entrevistado: Fabian Matamoros**

**Guía de entrevista para el director de proyecto (Fabian Matamoros)**

El objetivo de la entrevista conversación que combine su visión estratégica actual con su experiencia práctica pasada, para entender el impacto real de las ineficiencias en los procesos de planificación y control de obra, y validar la pertinencia de la solución propuesta.

## **Introducción y Contextualización del TFG:**

Se introdujo el propósito de la entrevista, destacando la importancia de su doble perspectiva como director de proyecto y su experiencia previa como ingeniero residente.

Se explicó el problema central del TFG: la desconexión entre la inversión en modelos BIM en pre-construcción y su bajo aprovechamiento en la fase de ejecución.

Se describió el objetivo del proyecto: diseñar un sistema o herramienta que permita al ingeniero residente utilizar los modelos BIM para agilizar los procesos de planificación de materiales y control del avance de obra.

## **Bloque 1: Perspectiva desde la Experiencia (Como residente y director)**

"Recordando sus años como residente, ¿cuáles eran los 'dolores de cabeza' más grandes o lo que más le quitaba tiempo en el día a día, tanto en la planificación de materiales como en el control de pagos a subcontratistas?"

Se conversó sobre los métodos actuales para el control del avance, tanto con el cliente (inspección) como a nivel interno con los subcontratistas, y cómo se manejan a través de tablas de pago y el software O4B.

"¿Cómo haces vos esa verificación de ese avance [de los subcontratistas]? ¿Tienes que ir a campo, tienes que tomar el tiempo de ir a revisar?"

## **Bloque 2: Impacto de los Procesos y Oportunidades con BIM**

"¿Cuál dirías que es este impacto real [...] de que estos procesos de planificación y control sigan siendo tan manuales, dependiendo de hojas de cálculo? ¿Consideras que esto es un impacto en temas de tiempo para el ingeniero?"

"Sabendo que la empresa invierte bastante en los modelos BIM, pero pareciera que en obra no se le está aprovechando todo el jugo, ¿vos estás de acuerdo? ¿Qué oportunidades consideras donde el modelo se pueda ver aprovechado más?"

## **Bloque 3: Visión a Futuro y Requisitos de la Herramienta**

"Mi propuesta busca diseñar un sistema para que el ingeniero residente pueda usar estos modelos. Para que los ingenieros de verdad la adopten y no lo vean como más trabajo, ¿qué sería lo indispensable que esta herramienta debe contener?"

"Más allá de la herramienta, ¿cuál crees que es como el mayor desafío para que los ingenieros residentes adopten estas nuevas formas de trabajar con tecnología en obra?"

Se profundizó en los tipos de información que serían más valiosos de extraer del modelo para la obra gris y los acabados, y cuáles no serían tan prioritarios (como el acero de refuerzo).

## **Transcripción de la Entrevista:**

### **Inicia entrevista**

**Marcos González:** Listo Mae de nuevo. Bueno Fabián, todo bien, espero que estés muy bien. Te comento primero muchas gracias por el tiempo. Como sabes estoy desarrollando ahorita lo que es mi trabajo final de graduación. Si me interesa conocer la perspectiva de los ingenieros directores de la empresa.

**Fabian Matamoros:** Entonces.

**Marcos González:** Igualmente forma no solo como tu experiencia como ingeniero director, sino también como tu experiencia previa, digamos como ingeniero residente. Entonces más o menos puedo hablar un poco con respecto a eso. Bueno, mi proyecto se enfoca en resolver básicamente una desconexión, digamos porque está por tema de la metodología BIM, nosotros, bueno la empresa como tal realiza modelos BIM, los cuales llevan una inversión de fondo, pero puede que no estén ahorita mismo aprovechándose de la mejor manera en la fase de construcción como tal ¿Verdad?

Entonces ahorita trabajo se encarga como de tratar de generar un sistema, un sistema de implementación, una herramienta para vincular lo que es la planificación de materiales con el control del avance de obra. La planificación de materiales es un proceso y poder vincularlo, bueno poder vincular este modelo, también otro proceso que es el control del avance, esto con el fin de buscar realmente aprovechar lo que es la metodología BIM, estos procesos y realmente poder aprovechar más estos modelos.

Entonces básicamente, sí resumen grandes rasgos, es diseñar un sistema que conecte estos dos mundos, darle al ingeniero reciente una herramienta o un flujo de trabajo que le permita usar los modelos BIM para realizar estas tareas del día a día, tal vez no directamente, sino una herramienta más simple, digamos mejor. Con este contexto Maraí, quería conversar un poco sobre vos, sobre los desafíos que has visto en estos procesos a lo largo de tu experiencia y demás. Para la entrevista se puede en tres bloques. Empezando por el primer bloque, digamos que es tu experiencia desde la perspectiva como ingeniero residente.

Entonces ahora vos digamos cuando estuviste como ingeniero residente, digamos en proyectos, no sé si has estado recientemente, no desconozco completamente cuáles, digamos por decir eran como los dolores de cabeza o los problemas que más te podían quitar digamos día a día en estos procesos y me refiero tanto a la hora de planificar materiales, ya sea concreto, acero, áreas de más unidades y también con el tema de lo que es el control del avance de obra, lo que se hace referencia más que todo principalmente a lo que es el tema de los proveedores, bueno los proveedores a los subcontratos, ya sea mampostería, armadura, ¿Cuáles han sido digamos como eso? ¿Qué experiencias digamos podrías decir mira se puede mejorar?

**Fabian Matamoros:** OK, bueno, vamos a ver. Yo actualmente de hecho estoy como ingeniero residente en el proyecto de CTP Demora, he estado digamos también fungiendo digamos el rol de director de proyecto en los anteriores proyectos, digamos por ejemplo un golfito. O sea, he tenido la experiencia desde los dos lados, desde ingeniero residente como también de director de obra.

En la construcción como tal hay muchos desafíos como vos decís, de todo ámbito, desde la parte de proveeduría, verdad, lo que son materiales, también tema de mano de obra y aparte otro tema digamos, como por ejemplo de que generalmente los planos no están muy bien hechos, entonces empiezan a haber dudas, consultas, cambios. En todo proyecto siempre hay cambios y esos cambios, esos cambios generalmente se ven hasta que de ya uno está construyendo, entonces en muchas ocasiones eso genera un atraso porque a veces hay que esperar a que lo definan y todo eso conlleva paralización digamos, o interrupción tal vez del programa de trabajo que uno tiene en el proyecto.

¿Entonces cómo te digo, hay de todo tipo verdad? Y uno prácticamente digamos como ingeniero lo que uno trata a veces es de anticipar un poco ese tipo de cosas para ver si se logran resolver a tiempo, de tener los materiales a tiempo en la obra en conjunto digamos, y verlo en conjunto con el maestro de obras que digamos, por lo menos en el caso de nuestra empresa, la gran mayoría de materiales son pedidos a través de la bodega del proyecto, que eso lo define, digamos, los pedidos los define el maestro y la parte de ingeniería más que todo el tema de materiales más que todo que ya son digamos, como de la parte arquitectónica, todo lo que es por ejemplo, cielos, puertas, pisos, enchapes, todo este tipo de situaciones y también ver nosotros el tema de los subcontratos que se van a ocupar en el proyecto para tratar de meterlos en el momento adecuado y para no trazar digamos también el desarrollo de la obra.

**Marcos González:** Básicamente ahorita entiendo, bueno la experiencia que he tenido en Guatuso y a través de Jimmy, Oscar y demás, es que estos procesos se realizan de una manera manual, digamos, tanto la a través de planos, verificaciones, digamos, incluso a veces me comentaba Edwin que muchas veces toman, por ejemplo, para el concreto, hacen su propia estimación y le piden al maestro de obra que haga una estimación en campo, está la comparan, entonces más o menos por esa parte ahí. Y para, no sé si vos manejas el control del avance, digamos un proyecto tanto desde una perspectiva como ingeniero residente, como ingeniero director, de hecho, me gusta que ahorita tengas como tan presente ambos roles porque es muy importante. Entonces el control del avance, no sé si lo manejas a través de tablas de pago, ¿Cómo es el método que empleas?

**Fabian Matamoros:** Ahorita tiene clarísimo lo de vamos a ver el control del avance de. ¿A qué te referís con la parte de costos o con la parte de programación?

**Marcos González:** Para llevar como ese control, literalmente cómo va avanzando el proyecto, se hacen cortes mensuales, cortes quincenales, cortes semanales. Me comentaba Edwin también que hacía cortes quincenales con lo que es unos proveedores de SE y con clientes más o menos mensualmente. Entonces me interesa si lo manejas a través de tablas.

**Fabian Matamoros:** OK, bueno vamos a ver. Hay varios controles, uno que es con el cliente. Nosotros todos los meses, bueno generalmente es de forma mensual, a veces es de forma quincenal, pero casi que la regla es de forma mensual, se presenta un avance a revisión a la inspección en la cual digamos

uno genera una tabla de pagos. En esa tabla de pagos está desglosada en las diferentes actividades del proyecto y uno lo que hace es que, bueno, no sé si las has visto, pero ellas tienen unas columnas de, digamos, tienen el monto, bueno generalmente tienen la cantidad de cada una de las actividades, el costo unitario y el costo total, digamos que nos contrataron para esas actividades. Después llevamos una columna donde dice digamos, el monto que se nos ha pagado, el monto de este avance, el monto acumulado y el saldo que va quedando. Entonces lo que uno hace es que va alimentando esa tabla todos los meses con el avance que lleva la obra y eso se envía a la inspección para que lo revisen y ya una vez eso aprobado, nosotros procedemos con la facturación del avance. Eso digamos en cuanto a costos.

¿Igualmente hay que presentar un informe del avance del cronograma, en donde lo que se hace es que digamos en el cronograma en Project también se le dan avance a cada una de las actividades de acuerdo con el desarrollo de la obra y con base a eso uno saca un porcentaje de, cómo se llama? De avance que lleva de ejecución del proyecto. Eso es en cuanto, digamos, como con la parte del cliente.

Después en la parte interna nuestra para el control del presupuesto, digamos, de los costos del presupuesto. Nosotros utilizamos una plataforma que se llama O4B, en la cual se carga el presupuesto del proyecto. En esa aplicación, esa herramienta, nosotros mes a mes, todos los 30 de cada mes, tenemos que, bueno, en ese caso, más que todo el ingeniero director de proyecto, que es el que hace eso, ingresa a esa herramienta y le pone el porcentaje de avance, o la cantidad, digamos, de avance que se lleva para cada una de esas tareas. Y con base a eso, una compañera que está allá en la oficina, que se llama Jocelyn, ella hace un control de los costos que llevamos, digamos, y lo compara con respecto al presupuesto, y lo compara contra lo que reporta la gente de contabilidad, que todo eso se carga en esa misma herramienta. Entonces ella genera un documento que es como un resumen, en donde se comparan, según el avance que llevamos, cuánto es el monto del presupuesto, cuánto es lo que realmente hemos gastado, y también comparamos cada una de las actividades, donde decimos, bueno, en concreto en presupuesto teníamos tanto y hemos gastado tanto. Entonces ahí se revisa, digamos, si vamos bien o vamos mal. Igual en mano de obra y en el resto de los materiales. Eso, digamos, en cuanto al control de los costos a nivel de empresa.

Después en la parte interna, aquí ya propiamente en el proyecto también se ve casi que de forma bisemanal con los subcontratistas, a ellos también hay que generarles un avance de verdad. Entonces lo que se hace es que se monta como otra tabla de pagos, ¿Verdad? De lo que se le contrató a los subcontratistas, y se le empieza a dar avance de acuerdo al desarrollo de que ellos llevan, digamos, en el proyecto. Y con base a eso se les aprueba un monto X ahí para el pago, y ya con eso ellos pueden facturar el avance que ellos llevan ejecutado.

**Marcos González:** ¿Cómo haces vos esa verificación de ese avance? Porque bien ellos tal vez te indican, supongo yo que algunos, me imagino que no todos los proveedores te dicen, OK, llevo tanto avance, ¿Vos cómo haces como para validarlo? ¿Tienes que ir a campo? ¿Tienes que tomar el tiempo de ir a revisar?

**Fabian Matamoros:** Ah, sí, claro, digamos, hay que. Eso hay que. Hay que medirlo en campo, digamos. Por ejemplo, que yo a un subcontratista le contrate la pegada de blog de un edificio entonces yo tengo que ir y medir en campo cuánto es el área de bloc que la pegado y entonces yo en un planito yo para llevar el control yo voy marcando las paredes que ya le voy pagando para

que en el siguiente avance yo ya saber, bueno esta pared ya se la pague, esta otra no y así. Entonces uno va marcando y uno saca las cantidades y uno dice bueno el avance de este mes o esta quincena son 300 metros cuadrados de bloque, entonces bueno eso es lo que le voy a pagar y así se hace con cada uno de los de los demás subcontratistas.

**Marcos González:** ¿Y ahora pasando digamos para engancharnos ahí, digamos, ¿cuál dirías que es este impacto real, esta problemática, no sé cómo llamarle, digamos este impacto de que estos procesos tal vez en el tema de la planificación y el control sigan siendo tan manuales que dependas digamos de hojas de cálculo y consideras que esto es un impacto tal vez en temas de tiempo para el ingeniero presidente, el ingeniero director importante o pues eso es algo que tiene que lidiar el proyecto?

**Fabian Matamoros:** Bueno digo, obviamente cuando existe ya algo, un estándar por decir así no importa que sea en hojas de cálculo, pero siempre es importante mantener un mismo formato para todos los proyectos de la empresa. ¿Existen herramientas también verdad? Por ejemplo, para el control del avance de programación, yo en varios proyectos había implementado la utilización de una herramienta que se llama Outbuild, que esa herramienta a uno le servía para o le sirve para planificar mediante la metodología, las planner, la programación y la ejecución de los trabajos semana a semana. Y esta herramienta también es muy importante porque te ayuda a ver restricciones, verlas con tiempo para poder resolverlas y que el avance de la obra no se vea afectado por atrasos de este tipo de cosas. Pero sin embargo no ha sido como un estándar para nosotros aquí en la empresa, entonces a veces dependemos de eso, a veces lo hacemos por project, a veces hay gente que hasta le gusta llevarlo en Excel, entonces es como diferentes maneras de hacerlo, pero obviamente si existiera una herramienta ya estandarizada y hubiera ya una serie de procedimientos ya formalizados, pues es más fácil porque así todo lo hacemos igual y ya uno no tiene que estar viendo de qué manera lo hace en el proyecto.

**Marcos González:** La herramienta digamos trabajando o estaré trabajando próximamente, ahorita me encuentro en la colección de datos y ver más o menos cómo está estructurada la empresa. Esta realmente trataría como de ser un apoyo, tanto planificación de materiales, que el ingeniero residente pueda extraer estas cantidades, estas áreas y demás para apoyarse con la cuantificación, tal vez no eliminar por completo la cuantificación, la planificación manual, pero que sí le sirva como sustento, puede ser un respaldo y con el control de ser posible que pueda, digamos, certificar elementos y con certificar me refiero, pueda validar que el elemento ya esté construido, incluso inspeccionado por el mismo ingeniero en esos, para poder llevar un control más estricto y que esto esté a través de una visualización D, idealmente algo más orgánico, incluso algo un poco más intuitivo.

Entonces, sabiendo esto, sabiendo que la empresa invierte, digamos, bastante en lo que es los modelos BIM, pero pareciera que en obra no se le está aprovechando, digamos como que todo el jugo al asunto. ¿Vos estás de acuerdo o consideras que, o no sé si tentas algunas consideraciones o oportunidades, digamos, donde el modelo se pueda verse aprovechado más?

**Fabian Matamoros:** Claro. Entre más provecho le pueda sacar unas herramientas disponibles, pues mejor, ¿Verdad? Y si el modelo, digamos, está bien elaborado y con base a ese modelo uno puede obtener lista de materiales o de materiales o actividades, pues de es de gran ayuda porque que le facilita a uno más el trabajo, incluso a veces uno no tiene más que por

ejemplo, sacar el plano y empezar uno otra vez a calcular para verificar, porque quizás en presupuesto uno no tiene desglosado la cantidad de la tarea que tal vez uno necesita como cuantificar para revisar y hacer el pedido, ¿Verdad?

**Marcos González:** Sí, correcto, correcto. No, no, y mira, justamente el trabajo ya el bloque 3 di mi profesor básicamente diseña, buscar, busca diseñar un sistema para que el ingeniero residente pueda usar estos modelos directamente sobre estas tareas, sobre estos procesos y entonces ahora con esa idea en mente, para que los ingenieros de verdad la adopten y no lo ven como, como una molestia al final, como tener que hacer más trabajo, ¿Que sería lo indispensable o lo que requiere como requiera estar lo que tenga, digamos, más que todo la herramienta para que digamos, el ingeniero residente pueda utilizarla y no sea así, o sea, ¿Que sería lo indispensable en esta herramienta?

**Fabian Matamoros:** Ajá. ¿Qué sería lo indispensable dijiste?

**Marcos González:** Sí se me cortó verdad, un poquillo.

**Fabian Matamoros:** Ahí creo, sí.

**Marcos González:** La estructura, digamos, mi herramienta ahorita busca que el ingeniero residente pueda utilizar los modelos BIM en campo y no necesariamente a través del uso de Revit o de software especializado, sino que algo sencillo, intuitivo, digamos, qué sería lo que esta herramienta debe contener para que el ingeniero residente la pueda utilizar verdaderamente, no sea, por decirlo así, que no se quede solo en la teoría.

**Fabian Matamoros:** ¿Ok, pero sería como algo adicional, digamos, por ejemplo, a Dalux que ya tenemos, o cómo sería lo que vos querías.

**Marcos González:** Implementar, digamos, ¿ahorita como trabajaba? Muy bien, la idea al final es primero entender cómo está la empresa y ver cuál sería la mejor alternativa, pero por ejemplo, tener un dashboard, un Power BI, digamos, en el cual vos puedes visualizar modelo, tocar el elemento y poder extraer esta información de ahí sería como lo más, lo que estaría buscando más o menos la herramienta que puedo pueda tener el modelo y a través de una visualización, una selección, una categorización o a través de filtros que vos poder extraer información del mismo modelo.

**Fabian Matamoros:** OK, sí, claro, sería buenísimo, digamos, por ejemplo, que yo necesite, bueno, por ejemplo, esta semana yo necesitaba programar el concreto para una placa de fundación de un muro. Entonces si yo llego y seleccionó, digamos, esa placa de fundación y quizás a través de alguna aplicación que yo pueda generar una tabla donde me diga de, no sé, cuánto volumen, cuántos metros cúbicos de concreto lleva esa placa o que me diga cuántas varillas de cada tipo lleva, pues gran ayuda para uno porque sí de la ahorra uno tiempo y puede obtener la información mucho más fácil.

**Marcos González:** Correcto, correcto, correcto. Sí, sí, sí, no, de eso más o menos está tratando la propuesta por ahí va encaminada en el hecho, sí, que el ingeniero residente pueda obtener un apoyo, digamos, más que todo pueda ser verificaciones más rápidas, pueda tener datos, estimaciones, incluso revisiones con la propia inspección, con el propio tipo de trabajo, tener 10 apoyos más inmediato ahí. ¿Me escuchas? Se me acaba de cortar.

**Fabian Matamoros:** Si, te escucho.

**Marcos González:** OK, sí. ¿Me escuchaste lo último?

**Fabian Matamoros:** ¿No, o sea, entendí, entendí la idea, pero no me estás haciendo una consulta? Creo que no, ¿Verdad?

**Marcos González:** No, no, no, no, porque me contó al final, pero no. Entonces aquí ya, digamos, pasaremos a la siguiente consulta o pregunta, digamos, más allá de cualquier herramienta, porque usualmente la herramienta no me llegó mucho. ¿Cuál crees que es como el mayor desafío para que los ingenieros residentes adopten como estas nuevas formas de trabajar con tecnología en obra, digamos? ¿Vos crees que puede haber un tema tal vez de tiempo de aprendizaje, un tema de la capacitación, una resistencia al campo, una resistencia al cambio propio de la metodología que ya han trabajado? ¿Cuál es ese punto que vos decís, esta herramienta tiene que ser, no se, tiene que hacer un software especializado para yo poder usarla o tiene que ser digamos, muy rápida para poder usarla, tenerla a la mano, tiene que ser muy precisa? ¿Cuál sería como esos puntos que tiene que ser así para yo poder utilizar?

**Fabian Matamoros:** Bueno, para mí, digamos, ahí la clave sería que tiene que ser bien precisa, ¿Verdad? Porque obviamente uno al principio pues no va a confiar del todo de esa herramienta, entonces probablemente uno lo va a estar de chiqueando, digamos con un cálculo a mano para ver si en verdad eso que me está indicando es correcto. Entonces a la medida que uno ya se vaya convenciendo de que verdaderamente los resultados que que ella da son correctos, pues de ya uno con el tiempo ya se puede ir uno digamos, tal vez dándole más confianza al uso de esa herramienta, ¿Verdad? Pero si ya uno de repente empieza a utilizarla y ve que los resultados no son correctos y todo eso, entonces obviamente uno probablemente la deje de usar.

**Marcos González:** Esta es la idea, que la herramienta digamos, no quede tampoco en el aire, por decirlo así, que sea algo más tangible. Ahí es donde entra como estas consultas, digamos, cómo se maneja, digamos, esta planificación, esta cuantificación de materiales y el control del avance propiamente. Vos me indicaste que has usado diferentes alternativas para el control del avance. ¿Utilizaste cuál fue el software que dijiste? Disculpa.

**Fabian Matamoros:** Se llama Outbuild.

**Marcos González:** OK. ¿Para darle una investigación y un seguimiento, puede haber incluso una compatibilidad entre herramientas? Bueno, yo aquí tengo que ahorita digamos, estando con Jimmy Guatuso, el tema de la planificación del acero se hace igualmente a través de los planos. Esto vos lo hace de igual forma a través de la propia extensión de los planos. Y no tienes como algún más o menos cuál es tu metodología de trabajo, por decirlo así, en cuestión de extraer información, al menos aquí creo que Jimmy me comentaba que él obtiene estimaciones, digamos de acero, por decirlo así, realiza planos de taller y demás, se los pasa al encargado, digamos de armadura o demás del proveedor de servicios. Y este pedido se envía a través del bodeguero, que en este caso es Moisés Mansfin, pero digamos este envío se hace a través del bodeguero y ya una vez con esa información dice envía 8 mogo y se recibe. Pero también Edwin manejaba otra metodología, él me indicaba que él hacía una solicitud de al menos el 80% del acero del proyecto. Esto digamos como para luego ir haciendo ajustes. ¿Vos cómo es que lo manejas? ¿Lo haces así a través de cortes de los elementos o haces en un solo pedido?

**Fabian Matamoros:** Lo hago igual que Edwin.

**Marcos González:** OK. Vos haces una solicitud de más o menos 80% del acero y ya vas haciendo ajustes a través de la vida.

**Fabian Matamoros:** Sí, correcto.

**Marcos González:** Y con. Disculpa, con la cuantificación, bueno, no sé si ahorita está del reciente en mora, ¿Verdad?

**Fabian Matamoros:** Sí.

**Marcos González:** OK. Para lo que es el cálculo, bueno, las solicitudes de concreto premezclado. Bueno, no sé si primeramente van a tener concreto premezclado, pero no sé cómo manejas por ahí esa parte, si haces este pedido, digamos con cuánta anticipación o si lo haces a través de. Sí, más o menos es como saber los tiempos que tomas vos para poder hacer estas estimaciones y si de igual forma agarradas con el ingeniero, con el maestro y haces una comparativa.

**Fabian Matamoros:** Bueno, generalmente lo que hago es que los jueves yo hago una estimación del concreto premezclado que vamos a ocupar para la siguiente semana para poder reservarlo con el proveedor. Entonces te hago de acuerdo al avance de hora yo bueno, la otra semana vamos a colar X elementos, entonces lo que hago es hacer un cálculo ahí preliminar y hago concreto. ¿Ya después un día antes de la churrea se vuelve a medir ya en sitio, se cubica, ¿verdad? Para ver bien el volumen y ya con eso se termina de confirmar con el proveedor.

**Marcos González:** OK, perfecto. Por ahí Excelente. Vamos a ver. Yo creo que ya cumplimos con los tres bloques, DI. No, más que todo esta entrevista era como para validar más o menos el tema, cómo es su perspectiva. En este caso como ingeniero residente me sirve mucho porque la herramienta está más aplicada al ingeniero, el ingeniero reciente como tal, pero sí también como ingeniero director se aprovechará bastante. Digamos que no sé si algún punto digas que la herramienta debe considerar. Bueno, en este caso al menos los modelos que se maneja actualmente no consideran el acero de refuerzo. Vos no sé si consideras algún otro punto que sea digamos delicado a la hora de hacer estas estimaciones. Por supuesto, al final la herramienta no quiere, no significa que vaya a solucionarle la vida al ingeniero por completo, no es la idea, sino es que más que sea un apoyo, pero quisiera conocer como si hay algunos puntos que vos digas, mira, hay que tener mucho cuidado con esto en particular porque puede generar mucho costo o puede variar mucho.

**Fabian Matamoros:** OK, bueno, vamos a ver, para mí los elementos que debería contemplar serían como estimaciones de volúmenes de concreto, ¿Verdad? Para cada uno de los elementos. Vamos a ver, voy a hacerlo como en obra gris y en acabados. En lo que es obra gris, para mí sería concreto, este quizás digamos metros cuadrados de formaleta, este quizás volúmenes de relleno de lastre por ejemplo, qué más puede ser el acelero, creo que no, para mí no sería como tan importante digamos, porque yo siento que ponerse a modular en bin así el acero como tal de las varillas para mí, no sé, yo siento que es como mucha, se pierde mucho tiempo en eso y generalmente en la obra siempre hay cambios y todo eso, entonces creo que no es tan importante dedicarle tanto tiempo a eso, entonces para mí eso no, no sería tan importante. Y después en lo que son más acabados sí, sí sería digamos ya como más valioso, digamos que uno pueda obtener fácilmente metros cuadrados de repello de pasta de pintura, las pues pisos, enchapes, hielos, todo este tipo de cosas. Creo que lo que son acabados sí es mucho más, más valioso digamos poderlo tener para poder iniciar con la etapa ya de lo que es la planificación de la compra de sus materiales.

**Marcos González:** OK, perfecto. Más o menos por ahí sería la idea de poder extraer toda esa información digamos a través de

la propia herramienta. Bueno, creo que me pasé un poco la entrevista. Muchas gracias, Dino. Fabián, nada más que agradecerte, yo espero que el proyecto digamos de graduación pueda servirles a estructuras como dar un soporte, pueda darles ventaja por decirle así, a los ingenieros y que ellos puedan, ustedes puedan desarrollar sus labores de mejor manera. Entonces nada más que agradecerte.

**Fabian Matamoros:** Bueno, con mucho gusto Marcos, pura vida, suerte y éxitos en el proyecto de graduación, que te vaya súper bien y pues ojalá que puedas generar una herramienta de bastante utilidad para nosotros.

**Marcos González:** Muchísimas gracias y muchísimas gracias a vos por el tiempo.

**Fabian Matamoros:** Bueno, pura vida. Saludos a todos allá yo los saludo. Bueno, OK.

**Finaliza entrevista**

# Apéndice G

## REGISTRO DE OBSERVACIÓN PARTICIPANTE

**Proyecto:** 400-MEP-CTP\_Guatuso

**Investigador:** Marcos Antonio González Torres

**Fecha:** 16/8/2025

**Actividad observada:** Planificación de acero requerido para placas de taller de agroindustriales.

**Actores involucrados:** Jimmy Madriz

**Descripción del proceso / evento:** Se observó al ingeniero residente realizando la cuantificación del acero de refuerzo requerido para la cimentación del taller de agroindustria. Esta actividad fue priorizada para evitar tiempos muertos en el equipo de trabajo de dicho subproyecto, cuyo maestro de obras estaba a la espera de los planos de taller para continuar con las labores de armado.

El proceso se basó en la interpretación de planos y el uso del software "Take Off". Se constató que la tarea demandó una parte considerable de la jornada del ingeniero, quien debió realizarla en el contenedor de oficina, un entorno sujeto a interrupciones constantes por radio y solicitudes de campo que dificultan la concentración necesaria. Finalizada la cuantificación, el ingeniero elaboró los planos de taller correspondientes en un iPad, detallando medidas, longitudes comerciales y cantidad de ganchos, para luego entregarlos personalmente en el sitio de la obra.

**Observaciones clave / puntos críticos:** El proceso de cuantificación es un cuello de botella crítico. Es una tarea manual que consume un tiempo significativo del ingeniero residente y requiere alta concentración en un ambiente propenso a interrupciones. El avance del equipo de campo depende directamente de la finalización de esta labor, evidenciando una fuerte dependencia en un proceso individual y análogo que centraliza el riesgo de retrasos.

## REGISTRO DE OBSERVACIÓN PARTICIPANTE

**Proyecto:** 400-MEP-CTP\_Guatuso

**Investigador:** Marcos Antonio González Torres

**Fecha:** 15/8/2025

**Actividad observada:** Planificación de acero requerido para cimentación de pabellones de colegio.

**Actores involucrados:** Jimmy Madriz

**Descripción del proceso / evento:** Se documentó el proceso de planificación del acero para la cimentación de los pabellones del colegio, iniciado a solicitud directa del maestro de obra general para dar inicio a los trabajos de los armadores.

Durante el proceso, se evidenció una limitante en la calidad de los documentos de partida. El ingeniero

residente señaló que los planos en formato PDF presentaban una calidad deficiente, lo que dificultaba su lectura y manejo en visores estándar, añadiendo una capa de complejidad y riesgo de error a la interpretación. Tras elaborar los planos de taller en un iPad, se observó un paso de control crucial: una revisión conjunta entre el ingeniero residente y el maestro de obras. Durante esta validación cruzada, se detectó y corrigió un error menor en los planos antes de su entrega final, demostrando la importancia de esta doble verificación para mitigar fallos.

**Observaciones clave / puntos críticos:** La dependencia en un proceso de cuantificación manual, sumada a la baja calidad de los documentos de entrada, incrementa el tiempo requerido y el riesgo de errores. La revisión conjunta, aunque efectiva para detectar fallos, representa un paso de control adicional que consume tiempo de dos roles clave (ingeniero y maestro de obras), evidenciando una ineficiencia en el flujo de trabajo diseñada para compensar la falta de fiabilidad del proceso inicial.

## REGISTRO DE OBSERVACIÓN PARTICIPANTE

**Proyecto:** 400-MEP-CTP\_Guatuso

**Investigador:** Marcos Antonio González Torres

**Fecha:** 29/8/2025

**Actividad observada:** Verificación y pedido de material

**Actores involucrados:** Jimmy Madriz

**Descripción del proceso / evento:** Se observó el procedimiento posterior a la cubicación del acero para la estructura del gimnasio. El ingeniero residente transcribió manualmente las cantidades calculadas a una hoja de cálculo que funciona como un sistema de control histórico de pedidos.

Se constató que esta herramienta manual cumple una doble función: registrar los pedidos enviados y comparar el consumo real de acero por zonas contra las cantidades presupuestadas. Este control es de alto valor para la empresa, ya que permite monitorear costos y detectar desviaciones, aunque depende enteramente de la actualización manual y diligente por parte del ingeniero. Finalizado el registro, el ingeniero preparó y envió un cuadro resumen al bodeguero con las especificaciones del pedido para iniciar el proceso de adquisición.

**Observaciones clave / puntos críticos:** El flujo de datos para el control de materiales está fragmentado. La información de la cubicación debe ser transcrita manualmente a un sistema de control paralelo (hoja de cálculo) y luego nuevamente a un formato de solicitud para el bodeguero. Aunque el control que se realiza es valioso, el proceso es ineficiente, propenso a errores de transcripción y depende de un esfuerzo manual considerable por parte del ingeniero residente para mantener la integridad de la información a través de diferentes sistemas no conectados.

## REGISTRO DE OBSERVACIÓN PARTICIPANTE

**Proyecto:** 400-MEP-CTP\_Guatuso

**Investigador:** Marcos Antonio González Torres

**Fecha:** 29/8/2025

**Actividad observada:** Control del avance de armadura

**Actores involucrados: Oscar Corrales y Julio (encargado de armadura)**

**Descripción del proceso / evento:**

Se observó el procedimiento para la aprobación del avance de obra, enfocado en las estructuras del gimnasio. Oscar Corrales, actuando como ingeniero residente en ausencia de Jimmy Madriz, lideró el proceso de ajuste en la tabla de control de pagos para el contratista de estructuras.

La actividad central consistió en mediar y definir el porcentaje de avance a reconocer por las placas de fundación ya construidas. Tras una breve discusión con el encargado de armadura, se acordó registrar un avance del 80% para estas placas. Esta decisión se fundamentó en que el 20% restante del valor de la partida corresponde a una etapa posterior y crítica: el montaje en sitio de las armaduras pre-ensambladas sobre dichas placas. Este ajuste fue ingresado directamente por el ingeniero en la hoja de cálculo que gestiona los pagos.

**Observaciones clave / puntos críticos:**

El control de avance para efectos de pago no se basa únicamente en la obra física completada (el concreto de las placas), sino en una estrategia de gestión que vincula el pago a etapas funcionales y críticas del proceso constructivo.

Al asignar un 80% a la ejecución de las placas y reservar un 20% para el montaje de la armadura, la administración del proyecto se asegura de que el pago refleje el progreso real hacia la siguiente fase constructiva y, a su vez, mantiene un incentivo económico para que el contratista complete el montaje de manera oportuna. Este método, si bien es efectivo para el control de flujo de caja, depende en gran medida del criterio y la capacidad de negociación del ingeniero residente para establecer porcentajes que sean justos y representativos de los hitos reales del proyecto.

# Apéndice H

## Instrumentos para la recolección de datos (OE1)

Fecha de la entrevista: 01/9/2025

Entrevistador: Marcos González Torres

Entrevistado: Antony Vásquez Flores

### Guía de entrevista para el director de Construcción Virtual (Antony Vásquez Flores)

Estas preguntas están diseñadas para obtener una perspectiva estratégica sobre las necesidades de la empresa. Se enfocan en el "porqué" de la mejora, más que en el "cómo" operativo.

#### Guía

#### Introducción:

"Antony, gracias por tu tiempo. Para mi TFG, estoy analizando cómo extender el uso de BIM a la fase de ejecución, específicamente en los procesos de planificación y control de obra del ingeniero residente. Me gustaría conocer tu perspectiva estratégica sobre las necesidades y la visión de la empresa en esta área."

#### Preguntas Clave:

"Desde la perspectiva del departamento de Construcción Virtual, ¿cuál es el principal valor desaprovechado de los modelos de información una vez que el proyecto entra en la fase de construcción?"

"Pensando a futuro, ¿cuál es la visión ideal del departamento sobre el rol que debería tener el ingeniero residente en la utilización de los modelos BIM? ¿Debería ser un consumidor pasivo de información, un validador activo, o algo más?"

"Desde un punto de vista estratégico, si tuvieras que priorizar, ¿cuál es la necesidad más urgente que un sistema de mejora como el que propongo debería resolver para la empresa: reducir errores de construcción, agilizar los ciclos de pago a subcontratistas, ¿o mejorar la trazabilidad y la data para futuros proyectos?"

"Finalmente, ¿qué barreras (culturales, técnicas o de procesos) consideras que son las más críticas a superar para que los ingenieros residentes adopten y aprovechen genuinamente nuevas herramientas BIM en su día a día?"

#### Transcripción de la entrevista

#### Inicia entrevista

**Marcos González Torres:** Bueno, listo Antony, muchas gracias, más bien por tu tiempo; mae como sabes, para mi TFG estoy analizando cómo extender el uso de BIM a la fase de ejecución, como habíamos comentado, específicamente a los procesos de planificación y control de obra hechos por el Ingeniero residente.  
**Marcos González Torres:** ¿Por eso me gustaría conocer tu perspectiva estratégica sobre las necesidades y la visión de la empresa en esta área, ya que actualmente eres el director del Departamento de Construcción Virtual, correcto?

**Antony Vásquez Flores:** Correcto, correcto.

**Marcos González Torres:** OK mae, tengo una serie de preguntas cortas para no quitar mucho tiempo.

**Marcos González Torres:** ¿Como primera pregunta desde la perspectiva del Departamento de Construcción Visual, ¿verdad? ¿Cuál es el principal valor de este principal valor como desaprovechado de los modelos de información? esto a partir de que el proyecto entra en la fase de construcción, ¿cuál es ese elemento que vos consideras, digamos, los modelos no se están como agarrando ahí verdad?

**Antony Vásquez Flores:** Sí, básicamente pues son los datos, porque si se modela mucho y demás, pero hay una gran cantidad de datos que se están perdiendo, que no están siendo aprovechados de la manera óptima por la gente en campo.

**Antony Vásquez Flores:** Entonces eso es básicamente lo que lo que hay que buscar una metodología para encontrar esa forma de aprovechar.

**Marcos González Torres:** Correcto, correcto.

**Marcos González Torres:** Sí, de hecho, trabajando con los modelos hay gran cantidad de información, pero sí, una vez ya entrando a la fase de ejecución, la información podría quedar apartada, no es el objetivo, hay mucha inversión detrás.

**Antony Vásquez Flores:** Correcto, correcto.

**Marcos González Torres:** ¿Como segunda pregunta, tengo pensando a futuro, ¿cuál es la visión ideal del Departamento sobre el rol que debería tener el Ingeniero residente? Esto sobre la utilización de los modelos BIM, verdad. Por supuesto, la pregunta va más dirigida a si el residente debería ser más un consumidor pasivo de la información, un validador activo de esta información o algo más.

**Antony Vásquez Flores:** No, pues que el Ingeniero residente tenga una plataforma o algo que le permita pues utilizar estos modelos, estos datos de manera fácil para hacer planificaciones y que evidentemente que sin que esto, pues. Sin que esto sea una carga muy grande para el Departamento Construcción Virtual estar transfiriendo archivos, o sea, hacer un procedimiento muy ortodoxo.

**Marcos González Torres:** Que él tenga la posibilidad de tener un acceso a esta información sin recurrir a otros puestos.

**Antony Vásquez Flores:** Correcto.

**Marcos González Torres:** ¿La tercera pregunta? Desde un punto de vista nuevamente estratégico, si tuvieras que priorizar, ¿cuál sería la necesidad más urgente desde un sistema de mejora como el que propongo, el que debería resolver para la empresa, ya sea tiene errores de construcción, se le ocurre utilizar los ciclos de pagos de los contratistas, mejorar la trazabilidad o preparar la información para futuros proyectos?

**Antony Vásquez Flores:** Yo creería que, bueno, es que yo lo. Desde mi perspectiva, es evidente que la perspectiva de un Ingeniero Residente va a ser otra y la perspectiva de un Ingeniero director va a ser otra, o debería de ser otra o por lo menos tener diferencias.

**Antony Vásquez Flores:** La perspectiva mía pues es evidentemente aprovechar más el trabajo que se hace, esa es la necesidad más grande como tal. Yo sé que evidentemente la pregunta iba con un poco más a la problemática en campo, pero la problemática ahorita es del Departamento de darle más aprovechamiento a los modelos y quizás en campo pues tener una agilidad para los Ingenieros residentes y que puedan tener una mejor trazabilidad de los datos y de las cosas para mejoras continuas en los que son los controles de los tiempos y demás producciones y demás.

**Marcos González Torres:** Estoy tratando de hacer un trabajo que se adapte bastante a las condiciones, incluso que esté apegado a la actividad, tratar de que no quede tanto como en la fantasía, que no, que se pueda aplicar y si no es así, que sirva como fundamento robusto para problemáticas y cómo poder mejorarlo fuertemente a la empresa.

**Marcos González Torres:** Y finalmente, ¿Qué barreras, ya más

qué barreras, ustedes culturales, técnicas o procesos consideras vos que son las más críticas a superar para que los Ingenieros residentes adopten y aprovechen genuinamente estas nuevas herramientas en su día a día? Esto siempre viendo cuál es el perfil técnico de un Ingeniero Residente, cuáles son sus conocimientos acerca de la metodología, ¿cómo qué barreras, considerando que son las más complicadas a superar o las que debemos tratar de mitigar, solucionar para que se pueda aplicar realmente?

**Antony Vásquez Flores:** Este. No, yo creo que el tema de las barreras mucho es como el tema de la parte económica, evidentemente que sea algo factible económicamente, porque si no, pues no va a ser algo viable y la facilidad de la manipulación de los datos y la actualización de los datos.

**Antony Vásquez Flores:** Entonces eso para mí sería lo ideal como tal, porque pues de la parte técnica cualquiera aprende, pero la parte, la económica a veces lo más complicado como tal en esta parte.

**Marcos González Torres:** Y mira, ya refiriéndose tal vez un poco más hacia el perfil del residente.

**Marcos González Torres:** ¿Cómo pensarías vos o qué pensarías vos acerca de cómo tiene que ser esta herramienta para que no haya un problema de una resistencia al cambio?

**Marcos González Torres:** Mira, te presento esta nueva herramienta, es así, así y que no haya esa naturaleza, obviamente hay una resistencia al cambio.

**Marcos González Torres:** ¿Qué consideras que tener propuesta de mejora para que no podamos mitigar un poco más?

**Antony Vásquez Flores:** No, no, o sea, una herramienta intuitiva, fácil, no preciso yo digamos, pero que sea intuitiva, fácil, no sea tiesa, no se pegue, que sea web, que sea colaborativo, pues eso, o sea, como no, obviamente no va a ser Dalux o bueno, no lo sé, pero en el tema de Dalux se ha acoplado bien porque es una parte colaborativa, todos están viendo al mismo momento, es web, no solo lo tiene como un cronograma que solo a veces lo tiene una persona y si no lo actualiza, todos están con cronograma viejo, no es colaborativo, no, sino que sea algo que sea más, un poquito más abierto como tal, que pueda, que pueda, que se pueda customizar, o sea, vamos a ver si yo puedo, cómo explicarlo, ya que si yo selecciono columnas que no me dé todo el volumen de columnas, sino que yo pueda decir OK, solo estas 4 o 5 arrastrar porque si no, no tiene mucho sentido planificar con algo que me el total, pues no, no tiene tanto el sentido hay al respecto.

**Antony Vásquez Flores:** Entonces pues, pues sí, básicamente es esto, hay softwares, o sea, cosas más baratas que se pueden utilizar, pero sí que sea bastante óptima, bastante fácil, digamos para utilizar y que los datos si puedan ser utilizados en la fase de obra.

**Marcos González Torres:** Listo, listo, Nada más que agradecerle por el tiempo, estaríamos hablando.

**Antony Vásquez Flores:** Este, realmente, vamos a ver, es importante que igual que tengas todas las perspectivas, yo te doy la perspectiva mía desde la parte construcción virtual, que es como que necesito utilizarlos más, pero desde la perspectiva del residente que lo vive día a día es muy importante, verdad, Estas perspectivas se lo pueden dar de mejor manera.

**Antony Vásquez Flores:** Wendy, David y Edwin que son los que son residentes, o sea, Edwin ya no es tan residente, pero igual pues, o sea, todo realmente Jimmy, Jimmy como tal, o sea, Oscar tiene muy buena igual visión y demás, Fabián también tiene buena visión, entonces pues estas entrevistas deberías de hacerlas con todos, saber qué extraes, verdad, que te pueden decir ellos de tú, de la experiencia que ellos han tenido con los proveedores de servicio, con los contratistas, cuáles ven, cuáles contratistas ven, que se podría hacer, cuáles no, por qué no, cosas así, pues se podría revisar esa parte.

**Finaliza entrevista**

# Apéndice I

## Instrumentos para la Recolección de Datos (OE1)

**Fecha de la entrevista:** 11/9/2025

**Entrevistador:** Marcos González Torres

**Entrevistado:** Anderson Reyes

### Guía de entrevista para Especialista BIM (Anderson Reyes)

El objetivo de esta entrevista es recopilar la perspectiva de un especialista con experiencia práctica en la implementación de flujos de trabajo BIM para el control de avance en proyectos complejos. Se busca comprender los métodos, herramientas y desafíos para informar el diseño de una propuesta de mejora realista y efectiva para ingenieros residentes.

### Guion de la Entrevista

#### Introducción (Guion sugerido)

"Hola Anderson, muchas gracias por tomarte el tiempo. Te contacto porque estoy desarrollando mi TFG, que se enfoca en diseñar un sistema de mejora para que los ingenieros residentes puedan utilizar los modelos BIM en la planificación de materiales y el control del avance de obra.

Me comentó Tony que tenés bastante experiencia en el ámbito BIM y que estuviste en el proyecto de los laboratorios Laureano Echandi. Considero que tu conocimiento práctico en el uso de los modelos me podría resultar muy útil para definir estrategias y flujos de trabajo realistas en mi propuesta."

#### Bloque 1: Flujo de Trabajo y Desafíos en Proyectos Anteriores

"Para empezar, ¿podrías describirme a grandes rasgos cómo fue el flujo de trabajo que implementaron en ese proyecto para el control del avance de obra utilizando los modelos BIM? Por ejemplo, ¿cómo y con qué frecuencia se actualizaba la información en el modelo?"

"A la hora de implementar este sistema, ¿cuáles fueron los mayores desafíos que enfrentaron? Pienso en temas como la calidad del modelo, la capacitación del personal, o quizás la resistencia a usar nuevos métodos en lugar de los tradicionales."

#### Bloque 2: Automatización, Herramientas y Factor Humano

"Desde tu perspectiva, ¿cuál crees que es el punto de equilibrio entre un proceso automatizado y la supervisión humana en campo? Es decir, ¿dónde aporta más valor la automatización sin desconectar al ingeniero de la realidad física de la obra?"

"¿Cómo interactuaba el personal en campo con el modelo para reportar o validar este avance? ¿Usaban dispositivos móviles, había estaciones de trabajo en el sitio, o era un proceso que se hacía en la oficina?"

#### Bloque 3: Visión a Futuro y Recomendaciones

"Mi TFG propone un sistema para que el ingeniero residente, quien no necesariamente es un experto en Revit, pueda extraer

cantidades y actualizar el estado de los elementos. Basado en tu experiencia, ¿qué consejos o recomendaciones me darías para que una herramienta así sea funcional y no se perciba como una carga de trabajo adicional?"

"Pensando en las funcionalidades, ¿qué elementos clave debería tener una herramienta de este tipo para que sea verdaderamente adoptada y útil en el día a día del ingeniero en campo?"

### Cierre

"Excelente, te agradezco muchísimo por compartir esto. Sé que hay todo un trabajo detrás. Al final, esta información me va a ayudar a pasar de la simple teoría a algo que realmente puede funcionar. De verdad, muchas gracias por tu tiempo."

### Transcripción de la entrevista:

#### Inicia entrevista

**Marcos González** Bueno, nada más que agradecerle por tomarte el tiempo. Te contacto, mae, primeramente, porque estoy desarrollando mi trabajo final de graduación en Tec Cartago y este trabajo básicamente ahorita se enfoca en diseñar un sistema de mejora para los ingenieros residentes y que estos básicamente ellos puedan utilizar lo que son los modelos BIM, en la planificación de materiales y para el control del avance de la obra. Me comentó Tony que tenés bastante experiencia en el ámbito de BIM, ¿verdad? Y que estuviste en el proyecto de los laboratorios Laureano Echandi de la Caja. Básicamente por esto considero que tu conocimiento en el uso de los modelos me podría resultar bastante útil en lo que es el diseño de la propuesta. Me sería muy útil para definir estrategias y flujos de trabajo un poco más realistas y efectivos para los ingenieros residentes. Más o menos la entrevista es en tres bloques.

Entonces, como primera preguntilla para empezar, ¿podrías describirme a grandes rasgos cómo fue el flujo de trabajo que implementaron en este proyecto para lo que es el control del avance de obra utilizando los modelos BIM?

**Anderson** OK, nada más preguntarte, yo puedo mostrarte la herramienta que usábamos. Solo me gustaría saber qué tan pública va a ser esta información, porque son muchas cosas que son propias de la empresa.

**Marcos González** Realmente si gustas podemos dejarlo como fuera de la grabación por la parte visual.

**Anderson** Sí, tal vez para que sea más gráfico lo que te voy diciendo.

*(Breve pausa mientras se prepara la pantalla para compartir)*

**Anderson** OK, ¿quieres conocer acerca de cómo gestionamos el control de avance? Te lo voy a ir describiendo. Primero, tal vez aclarar que es importante el hecho de que no todo proyecto es igual. En este proyecto lo hicimos así porque el cliente especificaba un requerimiento que era respaldar gráficamente el avance para facturación. Generalmente eso es un informe de fotos, pero nosotros, como ya nos habíamos embarcado en implementar BIM, quisimos aprovechar el modelo.

Lo que hicimos fue tomar el desglose que nos habían dado, que era una cosa impresionantemente monstruosa. El desglose te pedía especificar el avance de los elementos. Imagínate una columna: en el proyecto había como 14 niveles. Teníamos que reportar concreto, acero, formaleta y repello por columna, por tipo de columna y por nivel. Imagínate la precisión.

Entonces, ¿cómo hicimos? Tenemos una plataforma de colaboración. Había una persona encargada en campo de ir a esa columna y decirme... en el programa hay un apartado que dice "Avance". El programa te permite modelar información, no es un programa de modelado, sino de gestión. Aun así, me permite hacer clic derecho y agregar una propiedad personalizada. Por ejemplo: ¿el concreto ya está? ¿la armadura ya está? ¿el repello? ¿la formaleta? Como esto era una reestructuración y reforzamiento, había elementos que requerían escarificación. Esas eran las líneas del desglose.

La persona que estaba en campo nos retroalimentaba. Digamos que, para este objetivo, yo entraba una vez al mes al proyecto. La manera gráfica era que esta información de acá yo la puedo enviar a un archivo de Excel. Seleccionaba todos los elementos y los exportaba.

**Marcos González** OK. Siempre sacabas la información del programa que estaban utilizando.

**Anderson** Correcto. Necesitaba el ID del elemento para hacer un match entre el ID que salía de acá y el ID del elemento modelado en Revit. Eso lo exportaba a Excel, y ese Excel lo metía en un Dynamo. Buscaba el ID y, si coincidía con el ID de Revit, me le inyectaba la información de "sí" o "no", ¿ya está hecho? Con esa información ya inyectada en Revit, yo tenía unos planos pensados con una plantilla que, si la losa decía que la formaleta ya estaba, me lo mostrara en color verde; si ya estaba el concreto, en color rojo; si estaba la armadura, en amarillo. Y ahí, ya en formato PDF, procedíamos a imprimir para respaldar el avance.

**Marcos González** Para respaldar el avance, digamos, ya podías extraer como una especie de planos a través de una serie de colores, algo más visual.

**Anderson** Exacto. Había una persona encargada en campo de introducir esta información. Todo el preámbulo de configuraciones lo hacíamos nosotros. ¿Qué hacía el personal en campo? Clic derecho, agregar la propiedad, decirle cuál propiedad y decirle si "sí" o "no". Por defecto las dejábamos en "no". Era un booleano, un falso o verdadero. No era por avance de "mira, está al 30%", no. ¿Está hecho? Sí o no. Porque si no, ya entra a ser subjetivo. Si quieres automatizar, entre menos variables tengas, mejor.

**Marcos González** Y mira, agarrándome de eso, ¿cuáles fueron los mayores desafíos a la hora de implementar este sistema? Pienso en temas como la calidad del modelo, la capacitación del personal o la resistencia a los métodos tradicionales.

**Anderson** Yo creo que siempre el mayor reto, en este proyecto en específico, es el seguimiento. El seguimiento es la parte en la que no lo dejemos caer, no lo dejemos morir. "Ya le invertimos mucho, no dejemos esto". Que no sea que los primeros meses sí lo hacemos, pero al sexto mes ya no. Tal vez eso fue lo más difícil, el "mira, hoy es 25 y necesitamos que esa información esté el 28". El mayor esfuerzo no era imprimir, sino adquirir la información. El compromiso de esa persona que estaba dedicada era fundamental, porque, ¿cómo íbamos a saber nosotros si esa columna ya estaba o no, si no estamos el 100% del tiempo en el proyecto?

La calidad del modelado no sería un factor principal, porque el modelo no lo usamos solo para esto. Teníamos un plan de auditorías velando por que la información estuviera bien, que una columna fuera una columna y no una viga, para que las búsquedas no dejaran nada por fuera. Pero para este ejercicio específico del avance, lo más importante fue esa persona que le

daba seguimiento. Si esa persona no nos retroalimentaba, de nada nos servía el buen modelado.

**Marcos González** Desde tu perspectiva, ¿cuál crees que es el punto de equilibrio entre un proceso automatizado y la supervisión humana en campo? ¿Dónde aporta más valor la automatización sin desconectar al ingeniero de la actividad física de la obra?

**Anderson** Es una pregunta buenísima. La herramienta aporta, es capaz, es potente, pero no sabe nada. Quien le dice a la herramienta qué hacer somos nosotros. La inspección visual que vos haces en una obra no puede faltar. Nosotros hacemos una primera inspección automatizada con la herramienta, que verifica si las vigas chocan con los ductos, por ejemplo. Ese es nuestro punto de partida. Pero ¿qué no le voy a dar yo a la herramienta? Temas de constructibilidad.

La herramienta me puede decir que la viga no choca con el ducto, pero lo que no me está diciendo es si hay espacio para que el día de mañana, cuando tenga que abrir la puerta de esa máquina de aire acondicionado, haya espacio suficiente para que esa puerta sea abatible. Sigue mi inspección, que no va a ser minuciosa como la de la herramienta, pero yo voy a detectar lo que veo como profesional: "ah mira, no choca, pero no hay espacio para mantenimiento". El equilibrio es concientizar al profesional de que no puede llegar donde el jefe y decirle: "es que la herramienta no lo identificó". No, esa no es una respuesta válida. Es usted el responsable.

**Marcos González** Pasando a este proyecto como tal, ¿cómo interactuaba el personal en campo con el modelo para reportar este avance? ¿Era una inspección visual y luego a la oficina, o lo podían hacer desde campo?

**Anderson** Teníamos este juguete, le llamamos "kiosco" o "estación BIM". Aquí cualquiera tenía acceso: el operario, el segundo, el maestro. Obviamente, con un perfil de ciertos privilegios. Y las personas estratégicas tenían tablets con el modelo para aportar la información directamente desde el campo. La plataforma que usamos (Revisto) soporta celular, iPad y computadoras, entonces el que le quedara mejor. Si yo era la persona encargada y estaba en el lugar, veía que la columna ya estaba repellada y lo reportaba de una vez.

**Marcos González** Pasando al bloque 3, basado en esta experiencia, ¿qué consejo me darías para que una herramienta como la que planteo sea funcional y no se perciba como una carga adicional para el ingeniero, que no es un experto en Revit?

**Anderson** De las herramientas que conozco, la única que me permite hacer eso es esta que te acabo de mostrar (Revisto). El tema de las propiedades personalizadas, que una persona que no es modelador pueda modelar información, yo lo he visto solamente acá. El tema de la cuantificación es importante. Este programa no es para hacer presupuestos, pero si me hablas de cuantificación, mira qué rápido: yo puedo seleccionar todas las columnas de concreto, ver el desglose de esos elementos y pedirle que me muestre el volumen de cada una. Y ya sé que una columna requiere 2.33 metros cúbicos. Lo puedo mandar a Excel o verlo de forma independiente. Para un residente que está planificando un pedido de concreto, de aquí puede salir.

**Marcos González** Tal vez una estimación, no darle todo el poder, sino que pueda tener una doble verificación, un primer número rápido.

**Anderson** Sí. Y en temas de cosas que uno puede hacer, incluso podrías vincular esto a un WBS. Si una columna es del nivel 13, puedes ir al presupuesto y comparar: "mira, el WBS para las

columnas del nivel 13 dice que requiero 100 m<sup>3</sup>, voy a revisar aquí cuánto tengo". Es uno de los factores enormes que tiene que cuidar un ingeniero, el costo.

Sobre Power BI, nosotros lo usamos para hacer auditorías. Corremos scripts de Dynamo en el modelo, esos scripts nos dan información y la graficamos en Power BI para dar estadísticas muy visuales. Así tienes un overview general y lo desglosas. Alguien que no habla el idioma BIM puede entender gráficamente que, si algo está en rojo, tenemos un problema. Hay una integración de la herramienta y la persona.

**Marcos González** Todo claro, la verdad. Excelente. Te agradezco muchísimo por compartir esto. Al final, esto me va a ayudar a pasar de la simple teoría a algo que realmente puede funcionar. Muchísimas gracias.

**Anderson** Sí, con mucho gusto. Cualquier duda que salga adicional, nada más lo vemos. Estamos para ayudar.

**Finaliza entrevista**

# Apéndice J

## Instrumentos para la Recolección de Datos (OE1)

Fecha de la entrevista: 6/9/2025

Entrevistador: Marcos González Torres

Entrevistado: Yenny Carolina Osorio

### Guía de entrevista para Yenny Carolina Osorio A.

El objetivo de esta entrevista es generar una conversación estratégica sobre el futuro de la gestión de la construcción, enfocándose en cómo las nuevas tecnologías como la IA pueden potenciar el uso de BIM en la fase de ejecución y, específicamente, en el rol del ingeniero residente.

#### Guion:

- **Introducción:**

"Yenny, ¿qué tal? Primero que nada, de verdad muchas gracias por tu tiempo. Sé lo ocupada que estás y valoro muchísimo esta oportunidad. Te contacté porque sigo tu trabajo en LinkedIn y vi un post tuyo sobre la integración de IA con BIM que la verdad me pareció fascinante y esto hizo que me animara a escribirte."

"Para darte un poco de contexto, mi TFG para la licenciatura en el TEC se enfoca en cerrar la brecha entre la pre-construcción y la obra, en la empresa Estructuras S.A. La idea es diseñar un sistema para que el ingeniero residente pueda usar los modelos BIM, que ya existen y en los que se invierte mucho, para sus tareas del día a día como la planificación de materiales y el control del avance. Con esa idea en mente, me encantaría conocer tu perspectiva."

### Bloque 1: La Visión Estratégica (El Futuro de BIM y la IA)

"Viendo el panorama general, ¿hacia dónde crees que va la industria de la construcción en los próximos 5 años? Y más concretamente, ¿cuál crees que será el papel de la inteligencia artificial en esa transformación?"

"Mencionaste en un post el concepto de 'BIM + IA'. Para alguien que no es experto, ¿cómo le explicarías de forma sencilla el valor que la IA le añade a un modelo BIM? ¿Cuál es ese 'superpoder' que le da?"

### Bloque 2: Aterrizando la Tecnología (Aplicación Práctica en Obra)

"Ahora, pensando en el ingeniero residente que está en la obra, con botas puestas y resolviendo problemas a diario, ¿cómo crees que estas tecnologías avanzadas como la IA pueden realmente ayudarle en su trabajo? ¿Hay alguna aplicación práctica que veas con potencial para tareas como la planificación o el control del avance?"

"Mi proyecto se enfrenta a una realidad común: los modelos no siempre son perfectos (por ejemplo, no tienen el acero de refuerzo modelado). ¿Crees que la IA podría

ayudar en el futuro a extraer información útil incluso de modelos incompletos?"

"Desde tu experiencia, ¿cuál es la barrera más grande para que un ingeniero residente adopte estas nuevas herramientas? ¿Es un tema de que la tecnología no es lo suficientemente fácil de usar, o es más un tema cultural de resistencia al cambio?"

### Bloque 3: Recomendaciones Prácticas (El Primer Paso)

"Entendiendo que mi TFG busca proponer una solución tangible, si tuvieras que recomendar un solo 'primer paso' o una tecnología específica que yo pudiera explorar e implementar en este proyecto piloto, ¿cuál sería? Me refiero a algo que sea realista para un estudiante, que no requiera una inversión masiva, pero que pueda demostrarle a la empresa el potencial que hay en esto y abrir la puerta a futuras innovaciones."

### Bloque 4: Consejos y Cierre (Mirando hacia Adelante)

"Para estudiantes como yo que estamos a punto de entrar de lleno en la industria, ¿qué habilidad o conocimiento consideras que es absolutamente crítico que desarrollemos para ser relevantes en esta nueva era de la construcción digital?"

"Finalmente, ¿hay algún proyecto, tecnología o tendencia en el área de BIM e IA que te tenga particularmente emocionada y que crees que deberíamos tener en el radar?"

#### Cierre:

"Yenny, de nuevo, muchísimas gracias. Ha sido increíblemente útil escuchar tu visión. Me has dado ideas muy valiosas para mi proyecto y para mi futuro profesional."

#### Transcripción de la entrevista:

##### Inicia entrevista

**Yenny Osorio:** Para hacer una retroalimentación, después enviarte como una minuta.

**Marcos González:** Perfecto, perfecto. Muchas gracias. Bueno, empecemos, vamos a ver, yo formulé ahorita una entrevista, básicamente la dividí en unos, si no me equivoco, 4 bloques, si mal no me equivoco. Entonces, bueno, Jenny, ¿Qué tal? Primero, ¿Cómo estás? ¿Cómo te va?

**Yenny Osorio:** Bien, estoy bien. Bueno, muchas cosas pendientes, mucho trabajo, digamos, pero bien, estoy bastante bien.

**Marcos González:** Me alegro. Bueno, primero que nada, de verdad agradecerte, agradecerte por tu tiempo, ¿Verdad? Por supuesto, sé lo ocupada que estás y valoro muchísimo la oportunidad que me estás dando. Mira, principalmente te contacté porque más o menos estoy dándole un seguimiento a una serie de publicaciones tuyas o lo que es en LinkedIn y vi un post sobre la integración de IA con Bing, que la verdad me pareció fascinante. Ahora que justamente mi trabajo de graduación final, básicamente integrar BIM, una serie de procesos, ¿Verdad? Entonces, esto básicamente me

hizo, ¿Como me animó a escribirte? Bueno, para darte un poco de contexto, mi trabajo final de graduación o mi TFG es para la licenciatura en el Tecnológico de Costa Rica. Este TFG o este trabajo final de momento se enfoca en cerrar la brecha entre, bueno, al menos tratar de cerrar la brecha entre la pre-construcción y la ejecución de la obra como tal, ¿Verdad? Esto lo estoy haciendo para una empresa en específico, se llama Estructura s a, es una empresa que ya cuenta con más de 50 años de experiencia, si no me equivoco, en el 2022 la adquirió a los 50 años. Y bueno, la idea es diseñar un sistema para que el ingeniero residente pueda usar los modelos BIM que ya existen, que ya se manejan dentro de la empresa y en los que por supuesto, se invierte mucho. Es una metodología que requiere inversión, esto, por supuesto, para que el ingeniero lo utilice en sus tareas del día a día. Más que todo el proyecto está enfocado en dos procesos, estaría tanto en lo que es en la planificación de los materiales y en el control del avance de obra. Entonces, más o menos con esta idea en mente, me encantaría conocer tu perspectiva, ¿Verdad? Como te repito, bueno, te repito, separé la entrevista en lo que son una serie de bloques. ¿Tendríamos el bloque 1, que es más o menos como una visión estratégica o cómo sería el BIM con el AI a futuro? Como primera pregunta tengo, viendo el panorama general, hacia dónde crees que va la industria de la construcción como en estos tal vez, no sé, ¿próximos cinco años? ¿Y más concretamente cuál crees que será el papel de la inteligencia artificial en esta obra?

**Yenny Osorio:** Bueno, te voy a responder también como por la secuencia de lo que me has hablado. Digamos que en principio la integración de la IA con los procesos BIM es totalmente válido, es lo que realmente ahora necesita el sector, la industria AEC. Realmente estamos en este momento en una revolución tecnológica, así como descubrimos la imprenta, así como en su momento se descubrió el CAD y el Internet, ahora estamos en este proceso digamos de una apertura tecnológica. ¿Y por qué apertura tecnológica? Porque la IA tiene más de 50 años en nuestras vidas, solo que ahora en unos dos años atrás o tres años atrás la han liberado o la digamos yo le llamo democratizado, pero siempre estaba presente. Realmente digamos en la industria como tal hemos tenido procesos de automatizaciones durante muchos años atrás, solo que ahora como todo avanza, como todo está avanzando rápidamente pues obviamente nos toca que adaptarnos a lo que existe ahora y lo que viene. Yo diría que la línea de tiempo de la IA como ya viene arrastrando hace muchos años, pero de lo que viene no solamente va a ser prácticamente en cinco años. Es que esto cambia cada semana, semana tras semana está. Hay nuevas tecnologías. Exacto, hay nuevos inversionistas, hay mucho dinero puesto en las bolsas en estas empresas que están invirtiendo en procesos tecnológicos hay muchas empresas, muchos desarrolladores, vemos arquitectos desarrollando automatismos y desarrollando add ins para hacer estos flujos de trabajo un poco más preciso y más que la línea de tiempo sea más corta en nuestro proceso. Eso es lo que se quiere. Si bien la metodología BIM la entendemos y sabemos cómo metodología que es un esquema súper interesante que no todas las empresas lo aplican y que aún aún Después de casi 15 años del BIM estar en la, digamos en la industria aún hay empresas que todavía se manejan con sistemas bien obsoletos como por ejemplo hay empresas todavía y profesionales que todavía trabajan con AutoCAD es excelente. Pero yo creo que el proceso es bien manual y lo que se trata ahora es como de identificar otros aspectos que ya son nuevos en nuestra industria y que no

solamente son nuevos sino son problemas. Tenemos problemas dentro de la industria de la construcción. Entonces no podemos estar, no podemos seguir atascados en dibujar y en hacer proyectos bonitos cuando tenemos problemas de clima cuando tenemos problemas de que no sabemos qué hacer con tantos desperdicios de las obras de construcción y qué hacer con toda la información que manejamos, dónde la centralizamos, dónde la dejamos y cómo la extraemos. Tenemos millones y millones de datos, entonces la idea es como de ir ordenando. ¿Yo veo que la IA nos ayuda a ordenar el proceso de tantos datos sueltos, OK? Porque tenemos, se pueden extraer tantas cosas y se pueden hacer resolver muchas situaciones. Yo creo que la idea principal de la industria de construir esto, Digital Twins, que son estos gemelos digitales, es para minimizar los riesgos de todo el ciclo de vida del proyecto, desde el diseño hasta la operación y mantenimiento. Entonces yo creo que tenemos mucha tela que cortar, hay muchas cosas que seguir evolucionando y muchas cosas que explorar, pero como no podemos, como esto es tan abrumador, tenemos como que ir paso a paso y tratar de trabajar con los procesos que están ahora un poco más avanzados e ir caminando con ellos. Eso como lo que yo pienso a lo que tú me estás preguntando, lo que tú estás exponiendo.

**Marcos González:** Perfecto, completamente de acuerdo. Sabemos que si la industria y pues la construcción. Yo he hecho hablando con el ingeniero residente, con Jimmy Madrid se llama la persona, él me dice que no es tan simple como automatizar procesos, digamos, ya que él es una persona con amplia experiencia y él dice que jamás un proyecto le va a ser igual a otro, que los proyectos casi que como si tuvieran vida, factores climáticos, factores como el desperdicio. ¿Justamente aquí en Costa Rica hay un nuevo reglamento vigente que la empresa justamente está tratando como de incorporar por residuos peligrosos y demás, verdad? ¿Entonces básicamente es tratar de seguir avanzando y como lo decís, básicamente salen nuevas herramientas, nuevos procesos ahorita y la inteligencia artificial y pues si no te montas en el barco te vas lastimosamente a quedar verdad?

**Yenny Osorio:** Totalmente, totalmente. Yo creo que realmente, pues obviamente que esto es lo que, este es nuestro presente y va a ser nuestro futuro por muchísimas generaciones y cada vez va a evolucionar mucho más o cada semana evolucione. Básicamente yo estoy como en esta área de investigación también y de aplicación porque investigo y aplico en mí, digamos en los proyectos en los que participo y entonces siempre yo estoy buscando herramientas que sean lo más amigables y lo menos complicadas, porque yo creo que de esto se trata de trabajar con tecnología no compleja, sino que podamos realmente aprender, que sea intuitiva y que podamos digerirla con más irla como yo le llamo así, no sé si sería bueno el término, pero la masticando lentamente.

**Marcos González:** Correcto, correcto. Sí, sí, al final de no podemos. Bueno, la siguiente pregunta, vos mencionaste en un post el concepto BIN, Macía. Mira, para alguien que no es experto en el tema o una persona común por decirlo así, no sé, muy empapada en el tema, ¿Cómo le explicarías de forma sencilla el valor que la IA le puede añadir a la metodología BIM o en sí a un modelo, ¿cuál es su poder, que le da digamos como, como ese plus?

**Yenny Osorio:** Bueno, hay varias vertientes para digamos varias aristas que la IA nos puede ayudar. Los beneficios digamos principales son el ahorro de tiempo, la generación de ideas, la generación de digamos de ideas

en la fase inicial para la toma de decisiones. La IA generativa, por ejemplo, te puede ayudar a tener conceptos de diseño diez, veinte, treinta conceptos de diseño en minutos, en segundos y donde tú puedes como arquitecto puedes tomar el rol de decidir cuál puede ser el mejor, porque en nuestro cerebro humano no tenemos 30 ideas en el momento. Entonces ya estos sistemas que están ya prediseñados, porque ya es una caja, digamos una caja de diseños que hay ahí, entonces tú lo que haces como tomar y extraer, les das tus datos y él te configura todo a lo que quieres y de acuerdo al proyecto y al uso. Entonces yo creo que eso es bien importante porque si viene el BIN, el BIN no es un software, el BIM es una metodología, una metodología de trabajo donde tú puedes usar cualquier software como el Revit, como el SketchUp, como el Rhino, bueno un montón de cualquier otro. ¿Entonces basado en eso, en qué nos puede ayudar el bien que no, cómo lo integramos? ¿Cómo integramos la metodología B con la IA? Precisamente en el beneficio más importante, el tiempo. El tiempo y tomas de decisiones rápidas que ya tú visualizas, ya tú visualista desde el día uno en una fase de pre design puedes inmediatamente definir y decidir este la opción más correcta para esta o esta es la solución más correcta para este proyecto y tú poderle presentar al promotor, al inversionista, a tu cliente eso y que el cliente pueda decidir entonces ir por un camino como más acertado. Y no es que de repente la idea de la construcción del digital twin es que cuando esto llegue a obra no haya errores porque para eso está las interferencias, el class detection, todo eso que puedes hacer antes de que comience la obra. Como decía tu ingeniero residente, como yo en obras sigo teniendo problemas, siempre las va a tener, porque nunca ningún proyecto es perfecto, pero con ese modelo tú puedes minimizar los riesgos. Porque ¿Qué pasa? Que se complementan las especialidades, las especialidades se cruzan allí tienes arquitectura, tienes el MEP, tienes estructuras, entonces eso como tiene las venas del proyecto y tienes la estética del proyecto, entonces si hay algún cambio, los profesionales lo resuelven en un mismo modelo y no tienen trabajos sueltos, sino todo está 100% centralizado en un modelo. Y la IA te ayuda a resolver interferencias, los sistemas de la IA te ayudan a resolver class detection, te ayuda a resolver problemas de diseño básicos, que a veces puede haber errores humanos obviamente, y todo eso te lo está ayudando a resolverla ya.

**Marcos González:** Perfecto, perfecto, concuerdo completamente. Mira, ahora pasando al bloque 2, lo que es ya aterrizando la tecnología, más que todo una aplicación práctica en obra. Como primera pregunta sería, ahora pensando en este ingeniero residente, la persona con las botas puestas y resolviendo problemas en el día a día, ¿Cómo crees que estas tecnologías avanzadas, como pueden realmente ayudarle a su trabajo? ¿Hay alguna aplicación práctica que vos veas con potencial para tareas como esta, la que es la planificación y el control del avanzador?

**Yenny Osorio:** Sí, por supuesto que si lo hay. Hay sistemas de automatizaciones, ¿Verdad? Por, digamos, flujos de trabajo desde el que está en la oficina, el que está en obra, para que la comunicación sea el tema de las obras, para que funcione todo bien, básicamente la comunicación, OK, que todo esté totalmente alineado, que sea una ruta única, ¿Verdad? Que no haya, digamos, que en el camino no quede nada, que no queden dudas. Entonces, ¿Qué es lo que necesita el ingeniero residente? Porque yo también me he puesto las botas, yo he

construido y he estado ahí. Entonces, ¿Qué es lo que necesita? Tener todo al día, que lo que él vaya construyendo y lo que vaya revisando, tenerlo en una base de datos. Bien, Entonces ya tener material, las cantidades para revisar materiales, cantidades para revisar, mediciones métricas, y para eso hay muchísimos sistemas ahora para medir en obra, para ir midiendo, él va anotando, incluso desde su móvil, desde su smartphone, puede ir anotando, haciendo anotaciones y eso va llegando, va entrando y va saliendo información, él manda esa información y si hay algo que hay que corregir o si hay algo que se hizo una obra mal, pues los profesionales que están interviniendo todos están en la misma línea. Aquí arreglamos, aquí buscamos, aquí esto lo resolvemos de esta manera. Esa es la idea, ya no hay pérdida de tiempo. Esta llamada por teléfono que qué hago aquí, como lo resuelvo acá, que no llegó el material. No, porque incluso ya hay un sistema previamente automatizado donde por supuesto el mano humano siempre. La mano humana siempre va a estar ahí. Lo que estos agentes nos ayudan es agilizar, pero digamos no nos van a replan estos sistemas, no nos pueden reemplazar porque son obras físicas.

**Marcos González:** Correcto.

**Yenny Osorio:** Del chapter va a venir a construir una pared, ni va a construir una casa, ni un edificio. Nos ayudan como este flujo para que fluya todo precisamente.

**Marcos González:** Sí, sí, sí, correcto. Y mira, sí enfrentándote ya como la realidad, de hecho, el ingeniero residente ahorita, digamos ellos, hay un cliente que él pasa como los planos, estructura, CCA es una empresa constructiva, o sea una empresa constructora. Yo observando una observación participante, digamos, él toma los planos y tiene que tomar su escalímetro e ir por ejemplo con el tema de las fundaciones por una planificación de acero, ir midiendo y yo me quedaba viéndolo y como no tiene asistente, por decirlo así, él es el encargado de esa planificación de obra y la cantidad de tiempo que le toma me parece increíble. Y eso que no se tengan los problemas en obra, afuera está lloviendo, afuera hay problemas con la maquinaria, con el personal, con el terreno, hay infinidad de problemas y fue ahí donde yo dije mira no, aquí algo está pasando y esto siento que se puede agilizar. Y aquí es donde amarro mi siguiente pregunta, que mi proyecto actualmente se enfrenta a una realidad común. Los modelos no siempre son perfectos. Por ejemplo, el proyecto ahorita en el que nosotros estamos o el que estoy tratando de hacer, mi proyecto es un colegio técnico y este modelo no cuenta con acero de refuerzo modelado, lo que lo obliga al ingeniero a planificarlo manualmente. Entonces aquí es donde yo te pregunto, ¿Crees que la IA podría ayudar en un futuro a extraer esta información útil incluso desde modelos incompletos?

**Yenny Osorio:** Por supuesto, lo que pasa que, si el modelo no está completo, la información va a ser vaga. Entonces debemos partir en hacer el modelo lo más completo posible. Si el modelo no está completo, hay que hacerlo completo, hay que trabajar el modelo con su estructura, no sobrecargar el modelo de información. Porque ahora también hay algo importante que ahora están cambiando mucho la norma ISO, de hecho, ya hay una que están dando muy creciente, de donde podemos simplificar todo esto, procesos y más bien empezar a trabajar con esta metodología, digamos, impulsar o reforzar la metodología Lean, que es construir sin desperdicio, pero no solamente construir sin desperdicio

en la obra, sino también en el modelo. Mucha información innecesaria. ¿OK? Entonces lo mejor es tener la información clara, precisa y que no complique, pero sí para que estos sistemas de la IA puedan dar mejores respuestas. Por ejemplo, si montas un model contexto, un MCP, ¿Verdad? ¿Un sistema de un servidor de MSP, donde con otras, con herramientas como n o como el make, tú puedes, ¿verdad? Hacer un automatismo y se pueden generar respuestas exactas. Pero tú tienes que tener un modelo, buen modelo, hecho con poca información, pero información precisa. Si no tienes un buen modelo, ni siquiera usando ni la IA, ni usando la IA, va a ser un fracaso porque no va a servir para la obra. Va a ser un modelo bonito que sirve para hacer un render, para mostrárselo al cliente y para realmente que lo vean allá dando vueltas en una pantalla, posiblemente, pero para el caso real no va a funcionar, obviamente.

**Marcos González:** No, no, completamente de acuerdo. Yo actualmente me encuentro trabajando con estos modelos y es donde a veces hay tanta información innecesaria, inútil, que lo que hace es entorpecer al final del día. Y bueno, de verdad. Ahora pasando al bloque 3, lo que sería ya con recomendaciones prácticas o lo que yo lo llamé como el primer paso, esto entendiendo que mi TFG busca proponer una solución tangible, algo más real. Si tuvieras que recomendar un solo paso, una tecnología específica que yo pudiera explorar, implementar en este proyecto piloto, en este colegio, digamos, por ejemplo, ¿Cuál sería? Y esto me refiero a algo que sea realista para un estudiante. Yo todavía no concluyo mis estudios, yo voy a ser ingeniero civil, ingeniero en construcción, pero aún no lo soy, soy un estudiante. Y esto que no requiera una inversión masiva. Muchas veces hay muchas herramientas útiles y demás, pero sí requieren una inversión fuerte que muy posiblemente la empresa no esté dispuesta a aceptar de mi parte al menos. Y esto más que todo que pueda demostrarle a la empresa el potencial que hay en esto y abrirle la puerta a lo que son las futuras innovaciones. Como no es el primer paso que podría dar yo.

**Yenny Osorio:** Bueno, no sé con qué bajo qué tú trabajas, digamos en qué entorno D.

**Marcos González:** Revit, Revit y Dalux digamos en este momento está siendo como nuestro. Ha sido como nuestro principal digamos flujo de trabajo generar en Revit, enviar a Dalux y centralizar toda la información ahí donde viene el MEP digamos empezar a ver interferencias, problemas, los cambios que se dan por supuesto en el proyecto y demás.

**Yenny Osorio:** ¿Ok, bueno hay varios softwares que son gratuitos verdad? Que son de código abierto para tu proyecto, tú los puedes explorar, por ejemplo, bueno el Revit no es nada gratuito OK, sabemos requieres de una licencia obviamente, pero está el Bincolog, no sé si lo has usado, es un código abierto 100%, un IFC, puedes hacer visualizaciones y resolver interferencias. ¿Algún otro que digamos que pueda mantenerse en ese flujo de trabajo constante? Digamos que no todos son gratuitos, pero son de bajo costo que es diferente. No es lo mismo pagar una licencia de Revit de 3 mil dólares al año que tal vez pagar una automatización de 200 o 300 dólares al año por ejemplo con otra. Una automatización con n por ejemplo te puede costar 20 dólares al año, perdón 20 dólares al mes, 25 dólares al mes o 300 dólares al año.

**Marcos González:** Correcto.

**Yenny Osorio:** ¿Ahí donde te fijas hay una diferencia, es un nivel de automatización, pero a nivel de software lamentablemente la industria digamos está bien posicionado, el Autodesk está bien posicionado en la industria, pero también hay un punto importante que a veces la inversión tiene un retorno, un ROI verdad? El tiempo es dinero cuando tú inviertes porque hay que invertir, nadie puede pensar en que va a ser algo, digamos usar una tecnología de punta sin invertir un dólar, eso está difícil, yo le diría que siga con los métodos anteriores pero si hay opciones, por ejemplo, no solamente está el Revit porque está el Autodesk forma que a mí particularmente me encanta, que es un software más económico, que es del mismo Autodesk, pero puedes tener allí todo el flujo de trabajo listo, análisis energético, visualizaciones con veras, todo completamente en un mismo ecosistema y que después lo puedes llevar a la obra y lo exportas IFC y lo llevas directamente a la obra y de allí te pueden montar otro flujo de trabajo con Air Table, Notion y se pueden ser menos, digamos, costosos para poderlo implementar. Eso lo que pienso, lo que pienso que realmente se puede hacer más que todo.

**Marcos González:** Nosotros actualmente digamos, estamos trabajando con Revit, tenemos una licencia por parte de Revit y se está pagando lo que es el Dalux Box, ¿Verdad? Esto es una inversión. Sí, tal vez sería como la pregunta ir como hacía, cómo extraer la información o cómo dar este primer paso para extraer esa información para que el ingeniero residente pueda usarla sin que haya puesto llegar y decirle a mi jefe y decir mira, para yo poder dar esta implementación o este sistema tenés que invertir otros 2.000 dólares además de la licencia de Revit, además de la licencia Dalux. Pues ahí es donde ya me.

**Yenny Osorio:** ¿Cuáles son lo que tú ves que tu ingeniero residente te consulta más o qué es lo que él, digamos, ¿cuáles son los datos que él necesita del modelo extraer?

**Marcos González:** Básicamente él realmente ocupa extracción de cantidades. Como te digo, actualmente nuestros modelos no contienen el acero de refuerzo. Es un esfuerzo por parte, bueno, que tendría que ser por nuestra parte enorme, la verdad no se puede considerar actualmente, pero sí hay un modelado pues detallado, digamos, hay una estructura, tenemos lo que son puertas, ventanas, digamos, están las por parte de proveedores de servicios, tenemos lo que es la estructura metálica, ¿Verdad? Tenemos todo lo que es eléctrico, mecánico, en realidad no estamos mal encaminados, pero si ocupamos. Bueno, mi misión este proyecto es como dar ese primer paso para que el ingeniero residente pueda extraer un poco más de esa información. Se generan, por supuesto, se generan modelos de información, son costosos, entonces mi objetivo es como darle valor agregado. Tenemos los modelos de información, cómo podemos darle una utilidad extra, cómo podemos hacer que el ingeniero residente tenga una herramienta o tenga un flujo de trabajo en el que él pueda tomar esa información Y como tú lo comentabas, tiene que ser muy orgánico, de hecho, que sea como muy fácil para él. Normalmente estas. Bueno, lo que es los ingenieros recientes no tienen una. ¿Cómo se podría decir? Una. No tienen un estudio muy avanzado, digamos de lo que es la metodología, por supuesto no saben, en la mayoría de los casos no saben utilizar Revit, no pueden extraer estos datos, entonces, cómo darle esa herramienta para que él pueda extraerlo, ahí iría como más.

**Yenny Osorio:** Bueno, hay varias opciones, verdad, Si él no se maneja con las tablas de planificación para extraer,

por ejemplo, va a saber extraer en Excel las cantidades y todo aquello o no hay tablas de planificación confeccionadas para ese fin, pues entonces yo diría que pudiera usar un MCP conectado con el Cloud Verdad 4. ¿Cero del Antropoceno, ¿verdad? Es muy, bastante fácil, él no necesita sino solamente hablarle, hablar en lenguaje natural, escribir una pregunta, sácame las cantidades, hazme este reporte, etc. Sin necesidad de tocar el modelo, solamente con el modelo abierto. Pero si hay alguien, por ejemplo, está en obra y está ocupado y no puede hacer eso, alguien que en oficina lo haga, hable natural, verdad, Y automáticamente él puede abrir una aplicación, verdad, En el mismo flujo de trabajo en Tableau Notion o incluso en el mismo Nonika, que es una muy nueva, excelente desarrollo que hicieron uno, un chico español, verdad, que creo que eso fue lo que hablé en mi último post, donde puede tener, donde él puede, ustedes le pueden enviar esa información en PDF tranquilamente y él lo puede mirar, imprimirlo y descargarlo. Es montar como un flujo de trabajo automatizado, como por ejemplo un disparador que vaya desde correos que le llegue a él vía correo electrónico, digamos del Cloud 2.0 le llegue a él vía correo electrónico o lo monte en una base de datos de Notion o de Airtable o de cualquier flujo de trabajo que ustedes tengan, lo pueden hacer hasta un Microsoft Project, no sé cuál usan, no estoy muy segura, con el Dilux si se puede, no estoy segura, pero yo sé que si ustedes si lo hacen, por ejemplo a nivel de oficina a él le llega la información hasta por un WhatsApp, incluso le puede llegar hasta por el Telegram, puede revisar, o un Discord, una.

**Marcos González:** ¿No sé qué canal utilizamos, Telegram principalmente es como nuestro canal de comunicación principal, digamos, generan chats y demás, ya, bueno?

**Yenny Osorio:** Entonces te montan un flujo de trabajo en Telegram, ¿verdad? Para hacérselo llegar a él directamente para que no toque el modelo, pero si él no sabe de Revit y necesita hacer preguntas, no hay problema, también un día que vaya, imagino que debe tener un computador en su obra, por supuesto, bueno, abre el modelo, se conecta, verdad, Hace un conector del MSP y empieza, abre Cloud y empieza a hacerle preguntas, ¿Cómo extraigo estos datos? Todo lo que él quiera extraer de ahí del modelo y va a darle los informes en segundos, en minutos.

**Marcos González:** Perfecto, perfecto, perfecto. Mira, ahora avanzando y el último sería más que todo como consejos y cierre para estudiantes como yo que estamos a punto, digamos, de entrar de lleno lo que es en la industria. ¿Qué habilidad o qué conocimiento consideras que es absolutamente crítico ahorita mismo que desarrollemos para ser relevantes en esta nueva, en esta nueva era? Como lo dijiste, es como si fuera la imprenta, estar actualizados, no hay de otra.

**Yenny Osorio:** Bueno, mira, yo creo que la industria se va a dirigir muchísimo en los próximos tiempos a resolver estas cosas que tú estás hablando precisamente a personas que sepan desarrollar. Verdad, verdad. Que resuelvan tareas complejas y repetitivas, sobre todo repetitivas. Yo creo que debemos saber de eso bastante. También debemos saber. También debemos saber de automatización. Automatizar, importantísimo, porque eso va a liberar tiempo y va. Las tareas repetitivas la van a hacer los agentes. Ya no los vamos a. Ya no vamos a perder tiempo en eso. Entonces yo creo que en esos dos puntos son lo que los que más debemos enfocarnos. Ya

no usar el chat GPT como una caja de preguntas y respuestas.

**Marcos González:** Correcto.

**Yenny Osorio:** OK. Y ahora hay que validar modelos. Y ahora que nuestra tarea de aquí en adelante va a ser como más validar modelo, más validar los procesos, más de revisión y más de acción de que lo que validemos en obra se cumpla. Entonces es como que si ya sabes Revit o si ya sabemos, te manejas con la metodología BIM, entiendes perfectamente todo el proceso del que te estoy hablando. Y lo que va a hacer falta es que cada empresa adapte de acuerdo a su política interna. Porque sabes que cada proyecto es un mundo, pero también cada empresa es diferente. Cada empresa tiene como nosotros los seres humanos, no hay un marco ni hay una Jenny, somos diferentes y así es lo mismo en el mundo empresarial. Cada empresa es diferente. Entonces, ¿Como acoplar la política de la empresa a estos procesos? ¿Qué es lo que más le interesa a la empresa? Sacar rápido. ¿Que es lo que más le interesa hacer? Entonces es como tratar de liberar, automatizar esos procesos. Pero esto es individual, definitivamente individual. No hay una receta. Yo te muestro. Si yo te muestro y te comparto mi pantalla, te puedo mostrar todo el ecosistema que yo puedo, que tengo, digamos, y que uso, pero que no lo uso para una empresa en específica, sino cuando yo me siento con un cliente, él me dice yo quiero esto, quiero lo otro, quiero digamos que mis procesos sean de esta manera. Yo monto un flujo de trabajo de acuerdo a lo que él quiere, porque su trabajo es, no le voy a cambiar su metodología, sino digamos que voy a adaptar la tecnología a lo que él ya tiene, ¿Verdad? Lo de que esa empresa ya tiene. Entonces déjame mirar a ver cómo yo.

**Marcos González:** No te preocupes, no te preocupes.

**Yenny Osorio:** OK, dame un pequeño minuto para yo poderte mostrar, ¿Verdad?

**Marcos González:** Claro, claro, sí, justamente como el ecosistema.

**Yenny Osorio:** No te asustes porque, y esta es la primera página, pero tengo muchas más, digamos, más integraciones para que se pueden. Espera un minuto. Ahora sí creo que puedo. OK, no sé si estás viendo.

**Marcos González:** Sí, correcto. Ya estoy viendo.

**Yenny Osorio:** OK, si tú ves aquí, pues OK, todo este es el flujo de trabajo básicamente para cada cosa que se hace con la integración del Viniol, perdón, hay gestión de proyectos, automatizaciones de mail, análisis profundos de datos, gestión de reuniones y transcripciones, los modelos de GPT, códigos y normativa para transcribir audios, para hacer arquitectura paramétrica, para conceptualizar todos los add ins que trabajan con el Revit, cómo se maneja un BIM Manager, cómo integra la gestión de tareas para automatizar, bueno, referenciar, bueno, hay un montón. Fotografía, visualizaciones para hacer diseños sustentables, hay un ecosistema increíble.

**Marcos González:** Por supuesto, se nota mucho trabajo de fondo.

**Yenny Osorio:** Exacto. Y esta como la más básica que tengo como para. Pero tengo como montada una 10 más dependiendo de la complejidad, los trabajos, complejidad de la empresa. Entonces como con eso, pues finalmente

no todo lo que tú ves ahí se usa, pero yo lo adapto a lo que quiere la empresa. Pero muchas de las cosas que están allí son de código abierto. Lo que te hablé del MCP es código abierto. Hay un MCP en Revit que conecta con Cloud que es totalmente gratuito, entonces no pagas nada. Solo que si no tienes una versión de Cloud Pro, digamos, te va a dar un límite, te va a decir de un límite de respuesta, no sé, no va a ser ilimitado, pero para tu tesis te va a funcionar, te va a funcionar para. Para lo que estás haciendo. Pero ya cuando vayas al campo profesional que vayas a cobrar el trabajo, obviamente que sí vale la pena invertirlo.

**Marcos González:** Claro, claro. Tomando un poco de eso, ¿Qué pensás acerca de lo que es Power BI con Revit? Estuve indagando, digamos, ahorita estoy más que todo en lo que es la evaluación del estado actual de la empresa, pero sí he visto un poco, no sé si tengas información o si tienes conocimiento sobre Power BI y lo que son los dashboard con Revit. Ahí quisiera.

**Yenny Osorio:** Power B tiene muchos años ya, digamos que ya tiene muchos años en el mercado, no como inteligencia artificial, sino como un, digamos que, como un gestor de proyectos, como un, digamos, para tratar de que los flujos sean un poco menos pesados y haya mayor comunicación entre los equipos. Obviamente que es excelente, pero ya lo dejé atrás, en realidad que ya lo dejé atrás.

**Marcos González:** OK.

**Yenny Osorio:** Ya trabajo con otros sistemas, otros, también me he adaptado mucho el mercado norteamericano, en este momento el mercado estadounidense, pues tiene otros, otros, digamos, otros, digamos, tiene otros más, entonces, y cada empresa, como también te dije, diferente. Entonces, como lo dejé hace rato atrás, porque la empresa donde el trabajo no lo ocupan, entonces ocupan otros procesos y pues no lo uso, pero en su momento lo usé hace unos seis, siete años atrás y me funcionó. Es un muy buen, digamos que es excelente opción para gestionar proyectos, pero actualmente no lo uso.

**Marcos González:** OK, no, no, perfecto, perfecto. Y Dino, Jenny, nada más que agradecerte la entrevista por el tiempo, yo creo que fue un poco más largo, pero encantado. Muchísimas gracias por tu ayuda, Espero yo que esto sea bueno, va a ser muy útil para mi trabajo, ya me da como una realidad cómo se está moviendo ahorita el ambiente, el ambiente de trabajo, lo que es Bin Macía. Y no, nada más que agradecerte, la.

**Yenny Osorio:** Verdad, bueno, quise pues también darte la mayor información posible, muchísimas gracias, No soy egoísta en eso, siempre me gusta compartir lo que he aprendido y seguir aprendiendo, porque la clave de esto es seguir aprendiendo. Obviamente, pues yo sigo estudiando, no me lo sé todo, todos los días, como ya te dije, todas las semanas salen cosas nuevas y siempre estoy curioseando, entonces pude explicarte pues más quizás de lo que otras personas explicarían, pero yo no tengo problema en hacerlo, así que cuando lo necesites, pues dime

**Finaliza entrevista**

# Apéndice K

## Instrumentos para la Recolección de Datos (OE2)

Fecha de la entrevista: 6/10/2025

Entrevistador: Marcos González Torres

Entrevistado: Yenny Osorio

Guía de entrevista para Experta en IA, BIM y Nuevas Tecnologías (Yenny Osorio)

**Objetivo de la entrevista:** Re-conectar con una experta en IA y BIM para validar la elección de Autodesk Construction Cloud (específicamente Takeoff) como la solución técnica central. El objetivo es discutir la viabilidad de esta plataforma frente a un ecosistema mixto (Revit + Dalux + Docs), explorar el potencial y los riesgos de la IA para automatizar procesos, y recopilar consejos sobre el diseño de flujos de trabajo que fomenten la adopción por parte del personal de obra.

### Guion de la Entrevista

#### Introducción (Guion sugerido)

"Hola Yenny, muchas gracias por concederme este segundo espacio. Tu perspectiva de la primera vez fue muy útil. Te actualizo: ya completé el diagnóstico y validé los cuellos de botella en la cuantificación de materiales y el control de avance.

Mi análisis de herramientas me está llevando hacia Autodesk Construction Cloud (ACC), específicamente el módulo de Takeoff, sobre todo porque la empresa ya utiliza Docs. Me gustaría conocer tu visión sobre esta elección y el rol de la IA en estos procesos."

#### Bloque 1: Estrategia de Plataforma (Autodesk vs. Ecosistema Mixto)

"Considerando que la empresa ya usa Docs y Revit, pero también Dalux, ¿crees que centralizar todo en Autodesk (ACC/Takeoff) es la elección más sólida y práctica para la ejecución en campo? ¿Cuáles son los riesgos o ventajas de tener un ecosistema fragmentado?"

"Más allá de la herramienta, ¿cuál es el factor clave para que la implementación sea exitosa?"

#### Bloque 2: Automatización, IA y Estandarización

"Un problema actual es que la actualización de los modelos en los visores (como Dalux) es un proceso manual que depende del departamento BIM (hacer Sync, publicar). ¿Conoces tecnologías emergentes o aplicaciones de IA que puedan automatizar estos pasos?"

"Me preocupa implementar IA en una empresa que aún no tiene sus flujos de trabajo 100% estandarizados (ej. se pasan planos por WhatsApp, hay problemas de nomenclatura). ¿Es la IA una solución para esto, o es un riesgo si no se tiene una base sólida?"

"¿Qué es un 'Model Context Protocol' (MCP) y cómo ayuda a evitar las 'alucinaciones' de la IA?"

"Para una empresa en esta fase de transición, ¿existen herramientas de automatización más sencillas (como n8n o Zapier) que recomiendes antes de saltar a una IA compleja?"

#### Bloque 3: Flujo de Trabajo y Adopción del Usuario

"Mi siguiente paso es diseñar los flujos de trabajo y manuales. ¿Qué consejo me darías para diseñar un flujo que un ingeniero residente (con mucha experiencia pero sin dominio de BIM) realmente quiera adoptar?"

"Para una constructora que no diseña (como Estructuras), sino que recibe PDFs y genera sus propios modelos para coordinación y cuantificación, ¿cuál es el flujo de trabajo más común que has visto en EE.UU.? ¿Usan herramientas como Bluebeam, Procore o Airtable para este fin?"

#### Cierre

"Perfecto, Yenny. La información sobre el MCP, las herramientas de automatización como n8n y las plataformas de gestión como Procore me da un panorama mucho más claro. Muchísimas gracias por tu tiempo y por compartir tu conocimiento."

#### Transcripción de la entrevista:

##### Inicia entrevista

**Marcos González** Listo, muchas gracias. Bueno, nada más que agradecerte nuevamente por concederme este segundo espacio. De hecho, tu perspectiva en la primera conversación fue muy útil para enfocar mi investigación. Más o menos para actualizarte así rápidamente: desde que hablamos ya completé la fase diagnóstico en la empresa, validando que existen cuellos de botella o limitaciones en la planificación de materiales, en la cotización y en el control del avance, como era de esperar.

Con base en esto realicé un análisis comparativo de varias herramientas. La investigación y las entrevistas me llevaron un poquito hacia Autodesk Construction Cloud, específicamente con el módulo de Takeoff. De hecho, justamente la empresa utiliza Docs, tema de los modelos, ¿verdad? Y demás. Entonces, básicamente, formulé una entrevista más o menos para considerar tu visión sobre IA y sobre nuevas tecnologías.

El bloque 1 más o menos va como hacia la propuesta técnica. Con base en mi análisis, ahorita estoy recomendando la opción de Autodesk como plataforma central. Desde tu experiencia con múltiples ecosistemas tecnológicos, ¿consideras que esta es una elección sólida y práctica para la empresa, más que todo porque está buscando dar un salto un poco más allá hacia BIM y hacia la ejecución en campo? Entiendo que ahorita la empresa trabaja con Dalux, trabaja con Revit, trabaja con Docs... ¿Qué tan bueno es trabajar en diferentes plataformas y no tener como una centralizada?

**Yenny Osorio** Bueno, mira, en principio Autodesk es como la empresa líder del sector, ¿OK? Y maneja la mayoría de las integraciones. Se pueden hacer con esta plataforma Autodesk; casi todas tienen cómo exportar archivos Autodesk, cómo trabajar ahora con la IA. Casi todas las nuevas integraciones trabajan perfectamente con el Revit, que es de Autodesk también.

Pero no podemos dejar a un lado otras plataformas que son también muy interesantes. Por lo menos el Dalux es una herramienta muy interesante que también se integra con el Revit, por supuesto. Pero si la quiere usar la empresa y se le facilita, la empresa puede hacerlo. Yo pienso que más allá de una herramienta, más allá de un software, es la eficiencia, cómo se

manejen esas herramientas. Si las saben usar bien, si le saben sacar el máximo potencial para que los trabajos sean más rápidos, más eficientes, genial. Cualquier herramienta serviría. Hasta el AutoCAD, que es del mismo Autodesk y aún se sigue usando bastante. Pero si hablamos del mundo BIM, diría yo que el Revit, que es el software BIM más competente y más universal, lo puedes usar en cualquier parte del mundo y tiene muchísimas integraciones.

**Marcos González** Correcto, correcto. De hecho, el control de avance, digamos, en ACC o Dalux, creo que sigue dependiendo un poco de que el departamento de construcción virtual, como le llamamos, actualice manualmente o publique los modelos. ¿Conoces alguna tecnología emergente o aplicación de inteligencia artificial que pueda automatizar estos pasos? ¿Por ejemplo, algún código o alguna IA como tal, en la cual uno yo pueda solicitarle actualizar información?

Porque sí, Dalux como tal funciona, pero digamos, una de mis tareas en la empresa es modificar el modelo y hacer las debidas modificaciones, y luego a través del Dalux Sync, actualizar el modelo. Y eso, pues me parece bien, pero muchas veces es un tanto complicado, tal vez en una reunión, o hay que tener esa previsión de que antes de la reunión hay que actualizar el modelo en Dalux para poder estar hablando en el mismo día.

**Yenny Osorio** Bueno, sí, por supuesto que hay sistemas, ahora bien novedosos, donde tú puedes extraer toda la información del modelo y puedes automatizar todas esas tareas. Por ejemplo, se pueden crear... por eso va a depender del protocolo de cada empresa... pero sí se pueden crear MCP, que es el Model Context Protocol, para cada flujo de trabajo, y unirlos. Se pueden... y también las puedes trabajar con equipos en remoto. O sea, es un servidor propio que se monta de un protocolo que se monta para algunas de las tareas más importantes que quiera automatizar, o que quieran hacerla más rápida y de la manera más eficiente posible, con información real.

Como te explicaba el otro día, la IA también es una caja negra donde hay muchos sesgos y muchas alucinaciones. Entonces, no todo lo que la IA nos proporciona es correcto, porque igual debemos revisarlos. Con estos protocolos, lo que hacen es que precisamente la información sea precisa, que no hayan sesgos y evite cualquier tipo de alucinación, y que estés trabajando con datos reales, que es lo que queremos en el sector.

Para un ejemplo práctico... si tú escribes un prompt a esta IA que generan imágenes, posiblemente te van a salir imágenes bastante distorsionadas, ¿verdad? Y fuera a veces de escala de realidad. Si tú metes, por ejemplo en el chat GPT, y le subes un plano en PDF y le dices que te extraiga los datos, él lo va a hacer, pero tú tienes que primero armar ese plano, limpiarlo lo suficiente como para que la IA lo entienda. Dos, tienes que revisar todos esos datos, si realmente las mediciones están correctas o no.

Entonces, para evitar esos sesgos y esas alucinaciones, para eso es el Model Context Protocol, que es un sistema que automatiza de forma real con datos reales de tu modelo o incluso datos externos de estadísticas oficiales o de normativas oficiales, y nunca te va a dar una respuesta incorrecta.

**Marcos González** OK, justamente esa es una preocupación. Quizá estoy considerando implementar lo que fue el tema de la IA en el proyecto y quizá por ahí sería como dispararme en el pie, por decirlo así, ya que la empresa actualmente esos flujos no están tan estandarizados. Justamente estaban como en esa transición. Por ejemplo, las cotizaciones de puertas de importación, antes simplemente agarraban y daban un plano

rayado y te la pasaban incluso hasta por WhatsApp, y aquí empezaban a surgir problemas.

Justamente yo quería como integrar un poco la inteligencia artificial. Hablando con una persona de Autodesk me dijo que ellos tienen como un chat GPT propio de la empresa... Pero sí, yo dije, "mira, es demasiado pronto dar ese paso". Creo que primero es educar a los trabajadores. Incluso muchas veces los trabajadores, al menos conozco un par de casos en los que tal vez su educación está un poquito limitada, lo que sí tienen es mucha experiencia y se valora demasiado. Pero quizás esa forma de aprender nuevos flujos de trabajo o estandarizárselas está causando ahorita un problemilla.

De hecho, estamos lidiando con que estandarizamos subir los planos a Dalux y nos suben 4 o 5 versiones diferentes con nombres distintos y se genera un caos, ¿verdad? El temilla ahí es con las personas.

**Yenny Osorio** Bueno, incluso hay automatizaciones... siempre es bueno ir de menos a más. Yo pienso que lo primero que tienen que hacer es como trabajar mucho con la metodología BIM, ¿verdad? Tratar de ordenarse, porque precisamente la metodología BIM es para llevar un orden en el proyecto. Eso como la esencia, llevar un orden, una secuencia y trabajar por fases.

Creo que la idea sería que se familiaricen con los entornos automatizados, con el entorno BIM. Sin embargo, si trabajan bien en el entorno del Autodesk, en el Revit, allí hay muchas herramientas como por ejemplo tablas de planificación que se pueden crear para luego poder extraer los datos. Cuando ya se familiaricen con esa metodología, ya creo que pueden ir avanzando con la integración de la IA.

**Marcos González** Sí, correcto, correcto.

**Yenny Osorio** Por ejemplo, para un flujo de trabajo de equipo, la IA como Notion, Airtable, esas herramientas que pueden usar en equipo, que son bastante intuitivas, bien fáciles de generar, allí pueden trabajar todos en equipo y no tener esa cantidad de versiones de planos que ya no se van usando.

Pueden ir trabajando en una automatización... yo uso la que a mí me parece más conveniente, que es el n8n, porque también está Zapier y está Make. Pero para mí la mejor realmente es n8n. Número uno, costo muy bajo. Dos, las integraciones que tienen con todas estas plataformas que te estoy diciendo, tiene integraciones pero prácticamente con todo, y es bastante intuitiva, no necesita tocar ni siquiera una línea de código. Lo único que necesita es tener una API de las plataformas, como una API en Google, la API del chat GPT o una API del Notion. Con APIs realmente se trabaja y se puede montar la automatización para que todo el equipo esté alineado.

Cuando un plano se actualiza, se sube, automáticamente se detecta la subida de ese plano y le llega a los correos o llega a la misma base de datos del Notion. O sea, que todos saben inmediatamente, como un mensaje de WhatsApp, que ya llegó la nueva versión y que hay que trabajar en ella. Se hace una gestión de proyecto precisamente pero automatizada. Eso es bien cómodo para usarlo. Y más adelante, pues obviamente ya necesitarán a alguien que les monte un servidor más confiable, un MCP.

**Marcos González** OK, si no, perfecto, voy a tenerlo apuntado por acá. Mira, ahora digamos mi siguiente paso en el proyecto es diseñar flujos de trabajo detallados y los manuales para los usuarios. ¿Qué consejo me darías digamos para poder diseñar

un flujo de trabajo y que un ingeniero residente realmente lo quiera adoptar?

**Yenny Osorio** Tú dices, ¿un flujo de trabajo de gestión de proyecto o a qué te refieres?

**Marcos González** Sería como ya propiamente para emplear el uso de la herramienta. El trabajo colaborativo como tal.

**Yenny Osorio** OK, bueno, yo creo que el Autodesk Cloud es el ideal para si trabajan con el Revit. En el Autodesk Cloud tú puedes tener absolutamente todo el modelo para que colaboren todos los especialistas. Esa como que sería la plataforma que yo te pudiera recomendar.

Si tú quieres una plataforma de gestión de proyectos donde todos trabajen en tiempo real, está el Bluebeam, que es muy usado aquí en los Estados Unidos realmente, pero hay otras también que puedes usar que son bien amigables como el App Flow o incluso el Air Table. Es ideal para gestionar proyectos... cuando vas a obrar te recomendaría el Airtable. Pero si vas a hacer un trabajo colaborativo entre especialidades, lo mejor es hacerlo en el Autodesk Cloud o en Navisworks.

**Marcos González** Justamente la empresa... es una empresa constructora al final del día y pues realmente casi que todo es como subcontratado. Entonces justamente se utiliza Autodesk [Docs] para centralizar información y utilizamos actualmente Navisworks para el tema de las *Clash Detection*.

Yo estaba revisando quizá Power BI más Revit para poder extraer cantidades, pero se me planteaba ese problema en el que primero, la información no es completamente actualizada; después, para el equipo de construcción virtual sería una carga de trabajo adicional configurar el dashboard; y después que es un flujo de trabajo unidireccional, el ingeniero no podría alimentar de vuelta el modelo.

Ahí es donde yo estuve indagando y creo que Autodesk es como la mejor opción. Por supuesto representa un costo, ¿verdad? Pero creo que es la mejor alternativa.

**Yenny Osorio** Lo que pasa que aquí [en EE.UU.] está muy sectorizado. Hay firmas de arquitectura que solo se dedican a los proyectos de arquitectura, no construyen. Se llega solamente hasta la fase que se llama *Construction Documents*. Luego están los *contractors*, que son los contratistas.

**Marcos González** Justamente Estructuras, ellos no diseñan, ellos reciben el proyecto y lo ejecutan.

**Yenny Osorio** Lo ejecutan. Pero siempre la firma que hizo ese proyecto está haciendo... a veces hace una *Construction Administration*, que sigue el proyecto hasta que se termine. Pero en otras ocasiones no. Los que hacen construcción, ellos no trabajan con las fases de diseño, sino que van directo a la obra. Entonces allí se trabaja solamente con gestión de proyectos. Ahí ya no entra el BIM [de diseño], entra el modelo pero en una fase de IFC, donde un visualizador, donde no necesita nadie saber Revit ni CAD, sino simplemente pueden visualizar en 3D todo el modelo y ya tienen los planos dentro de la plataforma donde se hace todo el control y seguimiento.

**Marcos González** Justamente Estructuras es eso. Es un ingeniero que se dedica a construir, el cual tiene un visor para ver el modelo. Y ahí es donde entra mi trabajo. ¿Cómo hacer que él tenga ese visor y que ese visor, de ser posible, extraiga información? Porque nuestro departamento recibe un proyecto y nosotros generamos un modelo propio de la empresa. Esto al final es como un agregado para el cliente. Se puede construir

solo con los planos PDF, pero la empresa sí está como "OK, hagamos el modelo, veamos qué problemas hay", encontrar esos problemas antes de que sucedan, incluso apuntar con ingeniería de valor.

Ahí es donde mi trabajo quiere entrar. El ingeniero residente no sabe usar Revit. ¿Cómo darles un visor, por ejemplo, un dashboard de Power BI, en los cuales seleccionan los elementos? "La siguiente semana se va a colar 5 columnas del segundo nivel del sector B". Entonces, cómo él con una estimación rápida selecciona que más o menos son 40 metros cúbicos y poder tener un número más rápido.

Incluso también con áreas. La mampostería, por ejemplo, se hace a través de subcontratos. Esta persona tiene que [presentar] un registro de su avance y nosotros compararlo. Y aquí es donde lamentablemente se pierde mucho tiempo. Ellos quizá quieran reportar más de lo que han laborado. Y pues el ingeniero tiene que ir a campo y empezar tal vez a hacerlo manual. Ahí es donde esa herramienta, quizá el ingeniero pueda seleccionar la pared: "esa pared ya la terminaron".

Y ahí es donde no se quiere un flujo de trabajo unidireccional, sino que el ingeniero pueda seleccionar ese elemento. Algo simple, él no necesita meterse en Revit, sino seleccionarlo por decir que ya está terminado, está certificando la pared, que ya está inspeccionada, ya está construida.

**Yenny Osorio** Correcto. Entonces mira, cuando eso ocurre... siempre la responsabilidad del que diseña es hasta el final. El BIM es un modelo predictivo para tomar decisiones antes de que se construya. Se supone que cuando el modelo ya está listo, así se va a construir. Pero como ningún proyecto es perfecto y siempre hay cambios en obra, precisamente ese modelo base está allí para poder modificar y resolver interferencias.

En una obra, establecer fases o etapas es lo primordial. Planificar la obra va a estar siempre vinculada al modelo digital. E incluso después de terminada la obra, el modelo digital debe revisarse y modificarse a lo existente, porque después viene la fase de operaciones y mantenimiento. Si el modelo no está como el *As-Built*, pues la fase de operaciones va a ser un caos.

Entonces nunca, aunque el ingeniero no sepa manejar el Revit, para eso hay otro personal. Y siempre el modelo va a estar en las dos versiones: tanto en editable como en un visor. No le veo complicación si alguien no lo sabe usar, porque habrá quien lo sepa hacer y quien traslada esa información a los que no manejan las plataformas.

**Marcos González** Justamente Estructuras entrega un *As-Built*... no perfecto, pero suficientemente bueno. Y sí, es que el mundo de la construcción es un poco imperfecto, hay cambios...

**Yenny Osorio** No sé si ustedes... porque yo tengo una amiga que está en Costa Rica y ella es BIM Manager, ella me estaba comentando de que ella ya usa el Procore [dice "POCO"], que es una plataforma de gestión de obras y es bastante versátil. Aquí también se usa, los contratistas la usan mucho. Esa puede ser una gran aliada para el caso de ustedes.

Pero yo diría que si quieren avanzar en tareas automatizadas, siempre es importante que se familiarice todo el equipo con estos programas. Sin embargo, si en algún momento tienen a alguien que puedan montarles esa automatización, genial, porque no necesita ninguno del equipo saber ni cómo se montó, simplemente seguir el protocolo, que es muy intuitivo.

**Marcos González** Perfecto, completamente Jenny. Y no, nada más que agradecerte, ya no te quito más tiempo, agradecerte

inmensamente y por tus ideas además, y compartir conocimiento. Estaríamos hablando.

**Yenny Osorio** Bueno, también decirte que sabes que yo pues soy partner de un máster, del Máster de IA aplicada a la Arquitectura y la Ingeniería. Puedes conversarlo con tu jefe. Si quiere, esta semana, solo hasta el 10 están abiertas las inscripciones.... Yo te voy a dejar el link para que tú puedas entrar el enlace...

**Marcos González** Perfecto, muchas gracias. Justamente todavía no soy ingeniero en construcción, realmente estoy finalizando mi proceso, pero es algo acondicionado. Muchas gracias por la información, estaría encantado de que me puedas compartir el link.

**Yenny Osorio** OK, genial. Bueno Marco, que tengas un lindo día. Estamos en contacto. Un abrazo, chao, chao.

**Marcos González** Gracias.

**Finaliza entrevista**

# Apéndice L

## Instrumentos para la Recolección de Datos (OE2)

**Fecha de la entrevista:** 1/10/2025

**Entrevistador:** Marcos González Torres

**Entrevistado:** Juan Castillo

### Guía de entrevista para Especialista Técnico en Autodesk (Juan Castillo)

**Objetivo de la entrevista:** Recopilar información técnica y funcional sobre los módulos Takeoff y Build de Autodesk Construction Cloud (ACC). Se busca evaluar la viabilidad de estas herramientas como una solución integral para los procesos de planificación (extracción de cantidades) y control de avance (introducción de datos de campo) por parte de un ingeniero residente.

### Guion de la Entrevista

#### Introducción (Guion sugerido)

"Hola Juan, muchas gracias por el tiempo y la disposición. Como te comenté, estoy realizando mi TFG, que se centra en cerrar la brecha entre el modelado BIM en la oficina y los procesos manuales en obra para los ingenieros residentes de la empresa Estructuras.

Actualmente, ellos cuantifican materiales y controlan el avance de forma muy manual. Mi propuesta es un sistema que les permita usar una herramienta para visualizar el modelo, extraer cantidades y, de ser posible, ingresar datos de avance sin necesidad de ser expertos en Revit. Me comentaste sobre los módulos Build y Takeoff, y me gustaría profundizar en lo que estas herramientas pueden ofrecer."

#### Bloque 1: Autodesk Construction Cloud y el Módulo Takeoff

"Para empezar, ¿podrías darme un panorama general de la plataforma ACC y cómo se integran los módulos Docs, Takeoff y Build?"

"Dentro de Takeoff, ¿es posible para un usuario seleccionar elementos directamente en el visualizador 3D y extraer sus cantidades, como el volumen de concreto o el área de un muro?"

"¿Cómo maneja Takeoff la comparación de versiones? Si hay varias entregas de un proyecto, ¿la herramienta facilita ver los cambios en las cantidades?"

#### Bloque 2: El Módulo Build y el Flujo de Datos desde Campo

"Pasando al módulo Build, ¿está diseñado para gestionar el progreso constructivo? ¿Permite al personal de campo registrar el avance, por ejemplo, a través de formularios, fotos o RFI?"

"Una de las necesidades clave es poder introducir datos al modelo desde campo. Se ha hablado de 'extended properties' o la capacidad de modificar propiedades desde un visualizador en la nube. ¿Qué tan factible es esto actualmente? ¿Es posible que un ingeniero marque una columna como 'Vaciada' y que esto se refleje en el modelo o una base de datos central?"

## Bloque 3: Viabilidad y Aplicación Práctica

"Considerando que un ingeniero residente necesita verificar el avance de un subcontratista (por ejemplo, el área de mampostería instalada), ¿podría usar Takeoff o Build en un dispositivo móvil en campo para seleccionar el muro en el modelo y contrastar el área real con la reportada?"

"Finalmente, para una empresa que ya utiliza Docs, ¿cuál sería el siguiente paso lógico para implementar Takeoff y Build? ¿Qué tan maduro ves el mercado en Costa Rica para la adopción de estas herramientas más avanzadas?"

### Transcripción de la entrevista:

#### Inicia entrevista

**Marcos González** Bueno, primero muchas gracias y agradecerte por el tiempo y por supuesto por la disposición. Como te comenté, básicamente ahorita estoy realizando mi trabajo final de graduación en el Tecnológico. Esto se centra en cerrar la brecha entre lo que es el BIM como tal en la oficina y los procesos manuales en la obra para ingenieros residentes. Esto lo estoy realizando para la empresa Estructuras.

Vos me comentaste acerca de lo que son los módulos Build y Takeoff, que es más o menos el área que ahorita justamente quiero explorar. Ahorita estoy buscando una herramienta que le permita al ingeniero residente poder extraer cantidades del modelo. Te pongo en contexto: la empresa actualmente cuenta con acceso al ambiente Revit, generamos modelos y esta información normalmente nos sirve para planos de taller en campo, pero no mucho más allá. Estamos buscando que el ingeniero residente pueda acceder a ese modelo y visualizarlo. Ahorita tenemos como centro común de datos el DALUX, que nos permite visualizar el modelo y subir planos de taller.

Pero sí, estoy buscando diferentes opciones en el mercado y a veces es complicado obtener información de primera mano. Lo que estoy proponiendo es un sistema de implementación, una herramienta que le permita al ingeniero visualizar el modelo y extraer cantidades de ahí, porque él planifica y cuantifica, pero muy manual. Y además, que lo ayude con el control del avance de obra. Es muy deseable que él pueda ingresar información al modelo, por supuesto, sin tener que ser un experto en Revit.

**Juan Castillo** No, perfecto. Para contarte, me parece perfecto que me hayas contactado. Yo también estoy en Costa Rica. Normalmente Autodesk ha tenido poca presencia aquí. En mi caso personal, tengo aproximadamente 8 meses en la empresa y nuestro trabajo es ser un puente entre la casa matriz en Estados Unidos y las empresas en Latinoamérica. Me toca mucho hablar de ACC, de Takeoff y de Build, entonces definitivamente te puedo mostrar y enviar información de la fuente directa.

También, para contarte más personalmente, hace como 10 años hice una tesis en BIM. Me tocó mucho plano en CAD y yo llegué como un mae muy carajillo a decir "hey, hagan todo esto en Revit". Fue similar a lo que estás haciendo en este momento. Si quieres hacerme preguntas, perfecto. Si no, tal vez por aquí abro una diapositiva.

**Marcos González** Ahorita realmente estoy recibiendo toda la información posible. Es mi parte de investigación, tratar de indagar qué me ofrece el mercado actualmente. Pero sí, adelante por favor.

**Juan Castillo** Te iba a hacer un panorama general, la visión macro de ACC. No es un software individual, es una solución en

la nube. A la izquierda está la colección de software (Navis, Revit, etc.) y ahí abajo está Docs, que es el repositorio de información, el Common Data Environment para todos los módulos. El módulo más conocido es Bing Collaborate Pro, para coordinación y comunicación. Y luego están los otros dos que a vos te interesan: Takeoff y Build.

En Costa Rica no conozco muchas empresas que lo tengan full implementado, pero es bueno que lo estés tratando de comentar porque las empresas aquí ya están teniendo una madurez interesante en modelado y coordinación.

Takeoff es una herramienta que va a aprovechar la información que tenés del modelo. Si solo tienes PDF o CAD, también puedes manipularlos para hacer cuantificaciones. Obviamente sirve para análisis de materiales, áreas y para comparar versiones cuando tienes diferentes entregas. Imagina que normalmente tenemos muchos Excels, que son una fotografía de un momento. Takeoff te da la capacidad de comparar esas versiones de análisis durante diferentes etapas. Voy a abrir Takeoff en este momento para que lo podamos navegar juntos.

*(Juan Castillo comparte su pantalla y abre Autodesk Construction Cloud)*

**Juan Castillo** Aquí estoy en ACC, en un proyecto. Puedo acceder a los diferentes módulos. Voy a entrar a Takeoff. Aquí tienes la capacidad de tener toda tu información, tanto en láminas como en modelos, y la puedes visualizar de forma óptima. Aquí tengo una lámina, pero al mismo tiempo tengo un modelo. Con dos, tres clics, ya estoy navegando el modelo desde la versión web.

**Marcos González,** Por ejemplo, ¿te permite seleccionar un elemento y ver el volumen de concreto? Que realmente es como el primer paso.

**Juan Castillo** Sí claro, por supuesto, esa es la gran idea. Y lo que te hablaba de las versiones, aquí es donde se empiezan a guardar. Es bastante bueno. Realmente hay que darle un poquito de amor y detalle a cada elemento, pero lo beneficioso es que puedes tener la información sin estarla subiendo y bajando. Esta información es la que ya tienes en Docs, no estás duplicando.

**Marcos González** La empresa cuenta con Docs, un modelo central y demás.

**Juan Castillo** Exacto. Y este es más el módulo de Build. Claramente Build está diseñado para tener un sistema más de progreso constructivo. Tienes cosas como Forms, Fotos, RFI, Submittals, que son más traqueables en sitio.

Mira, aquí hay un enlace que te voy a pasar, se llama Autodesk ACC Learning Center. Aquí puedes hacer cursitos gratis de Takeoff, Build y los demás módulos.

**Marcos González** Perfecto, muchas gracias. Quería consultarte, me pareció que Autodesk sacó una beta, "extended properties" o algo así, que te permite desde el propio visualizador introducir información. No sé si tenés conocimiento de eso.

**Juan Castillo** Pues no te estoy captando la idea completa, pero las capacidades de Bing Collaborate Pro son exactamente esas. Me decías del Modelo de Coordinación...

**Marcos González** Fue una publicación en LinkedIn que me envió mi jefe: "mira, investiga esto".

**Juan Castillo** Lo que se comentó hace dos semanas fue en Autodesk University. Estuvieron hablando de que Forma, que es un software para conceptualizaciones, cada vez más va a tener la capacidad de interactuar de tú a tú con Revit y generar propuestas de diseño con inteligencia artificial. Pero el módulo de Model Coordination siempre ha servido para un trabajo similar al de Navisworks.

**Marcos González** Sí, la publicación anunciaba poder introducir propiedades desde la nube. Una persona que no tiene mucho conocimiento en Revit podría introducir esa información. Y eso es básicamente lo que buscamos: que el residente pueda tocar ciertos elementos, extraer cantidades de concreto y, una vez finalizado, volver a seleccionar las columnas y darles un estado de "vaciado", por ejemplo.

**Juan Castillo** No, tienes razón. De momento, hasta lo que yo he visto en la práctica, no existe mucha capacidad de modificar el modelo desde un visualizador. La capacidad de la que más se habla es de revisar, cuantificar, pero no tanto de la modificación per se del elemento. Posiblemente exista alguna característica en específico o algún complemento que en este momento no tengo claro, pero podría hacerte esa investigación.

**Marcos González** Sí, más o menos quisiera preguntarte si Takeoff te da la opción de extraer información propiamente desde el visualizador, seleccionar y poder extraer.

**Juan Castillo** Esa es la gran idea.

**Marcos González** Ahorita estamos en una etapa de transición. A la hora de la hora, el ingeniero tiene que sentarse con su ancho, alto y largo y cuantificar. Esto empieza a quitarle una cantidad de tiempo increíble cuando tiene su mente en otros aspectos. O por ejemplo, la mampostería se contrata. Entra un proveedor y dice "tengo este avance", pero ¿será real? Entonces le toca al ingeniero ir a sitio, medir y ver si la dimensión que le dice el proveedor es la correcta. Lo que queremos es que él pueda tener un dispositivo móvil, seleccionar esa pared en el modelo y ver "es un área de tanto. OK, vos me estás metiendo tres metros cuadrados más que no son".

**Juan Castillo** Sí, pero definitivamente Build y ACC como tal es una plataforma que fue pensada y creada para ese tipo de cosas. No solamente vas a tener la capacidad de analizar modelos y planos, sino que también tiene trazabilidad con Excel o con Power BI, elementos que no son nativos de Autodesk. La idea es que la capacidad de trabajo sea muchísimo mejor.

**Marcos González** Estuve analizando Power BI con Revit, pero no permitía seleccionar elementos y extraer la cantidad. Me dijeron que Takeoff es el que te permite esto.

**Juan Castillo** Sí, claro. El módulo por excelencia para revisión y cuantificaciones es Takeoff, definitivamente. Y tiene mucha capacidad de análisis. Hay que ver exactamente cuál es la información que ustedes tienen y cómo puede ser aprovechada. Si necesitas alguna información de mi parte, no dudes en darme algún correillo. Yo te puedo compartir enlaces. Ahora Autodesk está desarrollando muchas herramientas de inteligencia artificial. Tenemos un ChatGPT interno, entonces puedo preguntar "¿esta vara es cierta?, ¿funciona?" y te puedo responder más de primera mano. Pero tengo una reunión ahorita.

**Marcos González** Adelante. No sé si tendrás el contacto de la otra persona que me dices que está en Costa Rica.

**Juan Castillo** Leonardo Chancán. Es más experimentado, tiene más tiempo en la empresa, pero normalmente va a ser más difícil que logres contactarlo.

**Marcos González** Perfecto. No, nada más que agradecerle por el tiempo, ¿verdad Juan? Ahí estaríamos hablando. Muchísimas gracias.

**Juan Castillo** Perfecto, muchas gracias a vos. Hasta luego.

**Finaliza entrevista**

# Apéndice M

## Instrumentos para la Recolección de Datos (OE2)

**Fecha de la entrevista:** 7/10/2025

**Entrevistador:** Marcos González Torres

**Entrevistado:** Néstor del Pozo

### Guía de entrevista para Especialista en Dalux (Néstor del Pozo)

**Objetivo de la entrevista:** Validar si la plataforma Dalux, ya implementada en la empresa, posee las funcionalidades necesarias para servir como solución a los procesos de planificación de materiales (extracción de cantidades) y control de avance (introducción de datos de campo) por parte de un ingeniero residente.

### Guion de la Entrevista

#### Introducción (Guion sugerido)

"Hola Néstor, gracias por el tiempo. Para darte un contexto rápido, mi TFG con Estructuras se enfoca en resolver una brecha digital. A pesar de que la empresa invierte en modelos BIM y ya usa Dalux para visualización, los ingenieros residentes siguen dependiendo de procesos manuales para dos tareas clave: la cuantificación de materiales y el control del avance con tablas de Excel.

Mi objetivo es proponer un sistema que conecte estos procesos al modelo BIM. Dado que Estructuras ya es cliente de Dalux, mi primera intención es validar si la plataforma que ya tienen podría ser la solución. Por eso te contacto."

#### Bloque 1: Cuantificación y Extracción de Datos en Dalux

"El primer punto es que el ingeniero residente pueda extraer cantidades de forma ágil. Por ejemplo, si necesita saber el volumen de concreto para cinco columnas específicas que se colarán la próxima semana, ¿cómo aborda Dalux esta necesidad de obtener cuantificaciones rápidas y fiables directamente del modelo?"

"Veo que el método se basa en filtros de propiedades más que en una selección manual en el visor. ¿Podrías explicar la lógica de este enfoque y por qué se considera más preciso para minimizar errores humanos?"

#### Bloque 2: Control de Avance y Registro de Datos en Campo

"El segundo punto es el control del avance. Si un ingeniero quisiera registrar que un muro ya fue vaciado o finalizado, ¿cuál sería el flujo de trabajo recomendado en Dalux? He investigado un poco sobre Tareas, Formularios y Zonas, ¿cuál sería la herramienta más adecuada para este fin?"

"La necesidad es poder introducir información directamente sobre los elementos para reflejar su estado. Sin embargo, entiendo que Dalux, por premisa, no altera el modelo de diseño original. ¿Cómo se maneja entonces la necesidad de añadir datos de construcción sin modificar los archivos de Revit?"

## Bloque 3: Funcionalidad de BIM Data Files como Solución

"Mencionaste los 'Archivos de Datos BIM' (BIM Data Files) en Dalux Box. ¿Podrías explicar cómo esta funcionalidad permite añadir metadatos personalizados, como 'Estado de Construcción', ¿a los objetos del modelo?"

"Una vez que se ha añadido esta información a través de un BIM Data File, ¿es posible filtrar y colorear el modelo en el visor para ver de forma gráfica y rápida qué elementos ya están construidos y cuáles no? ¿Esta funcionalidad ya está incluida en la licencia de Box?"

### Cierre

"Néstor, de verdad, muchísimas gracias. La conversación y la demostración han sido increíblemente útiles. Justamente esta funcionalidad de los BIM Data Files es algo que no había podido encontrar con claridad. Posiblemente, cuando avance en mi investigación, me gustaría agendar otra reunión para profundizar en los flujos de trabajo. Muchas gracias de nuevo."

### Transcripción de la entrevista:

#### Inicia entrevista

**Marcos González:** Perfecto. Te comento, para darte un contexto rápido. Mi trabajo final de graduación con Empresas Estructuras se enfoca en resolver una brecha digital. A pesar de que la empresa invierte en la creación de modelos BIM y ya está utilizando DALUX para visualización en campo, los ingenieros residentes siguen dependiendo de procesos manuales para dos tareas: la planificación de materiales (cuantificación) y el control del avance, que se gestiona a través de tablas de Excel. Mi objetivo es proponer un sistema que conecte estos dos procesos al modelo BIM. Y dado que Estructura ya es un cliente Dalux, mi primera intención es validar si la plataforma que ya tienen podría ser una solución.

**Néstor del Pozo:** Bien, por entender mejor, detállame un poco cuál es el proceso que andas buscando o qué huecos querrias cubrir en cuanto a esa innovación tecnológica.

**Marcos González:** Sí, mira, lo que estoy buscando es que el ingeniero residente pueda tener acceso a los modelos, como ya lo hacen en Dalux, pero poder extraer cantidades de una manera más fácil. Que él pueda seleccionar, por ejemplo, cinco columnas diferentes que serán la colada de la siguiente semana y poder tener una estimación más rápida. Esto porque actualmente lo hace a mano, yéndose a planos con escalímetro, y pues hay un error humano que podría incurrir.

**Néstor del Pozo:** Vale, bien, respecto a eso, hay una parte del sistema que sí resuelve esa necesidad. Si quieres te comparto pantalla y te explico. Para nosotros, las cuantificaciones no dejan de ser una forma de filtrar el modelo BIM. Lo que hacemos es devolver en un listado todos los objetos independientes que hay. Aquí abajo estás viendo 3954 líneas que corresponden a todos los objetos del modelo. Nuestra visión es que la persona pueda tener una tabla con un filtrado de datos que corresponda a lo que busque.

Por ejemplo, quiero saber cuánto hormigón voy a requerir en estas pilas. Podré aislar esos objetos y el sistema me devuelve esa línea. O puedo aplicar un filtrado por categoría. Ahora me ha devuelto un listado de 99 líneas, y en la tabla me devuelve los parámetros que yo decido que son importantes: diámetro, longitud, área, lo que sea. Estas son propiedades del propio modelo. Si el modelo estuviera faseado, podría filtrar por fase. Una vez que tengo este filtro y esta tabla, la puedo exportar. El

objetivo de Dalux no es hacer el control de ejecución de cantidades, ni de planificación, ni de costos. Es poder utilizar un modelo para filtrarlo y sacar la información útil. Luego, me puedo guardar esos filtros o exportarlos a Excel. Si el diseño cambia, basta con actualizar el modelo en Dalux para que este filtrado se actualice automáticamente.

**Marcos González:** OK. Sí, justamente estaba analizando esta opción. Y no puedo seleccionar el elemento como tal y seleccionar varios a la vez, sino que tiene que hacerse a través de filtros, ¿verdad?

**Néstor del Pozo:** A ver, el objetivo nuestro no es depender de la habilidad del usuario, es depender de la veracidad de la data. Si haces una selección múltiple y por error no seleccionas un conducto, estarías cometiendo un error. Cuando hablamos de BIM, hablamos de minimizar errores humanos. Es más preciso filtrar por categoría y por el tamaño de ese conducto, asumiendo que el modelo es correcto. No vamos a desarrollar funcionalidad que permita un error humano.

**Marcos González:** Entendido. Y mira, ahora con el control del avance, he visto que Dalux Field ofrece varias funcionalidades. ¿Cuál es el flujo de trabajo que Dalux recomienda para que el ingeniero registre el progreso? Creo que había dos vías: la gestión de tareas y los campos de usuario personalizados. Si un ingeniero quisiera registrar que un muro ya fue vaciado, ¿cuál sería la herramienta más adecuada?

**Néstor del Pozo:** Realmente, nuestro objetivo no es hacer ese control de la producción, sino un registro in situ que deje una evidencia. Tanto los formularios como las tareas están pensadas para un proceso que va más allá de ese registro. El formulario es un registro estático que hace una persona para un proceso de control de calidad, por ejemplo. La tarea podría ser un desencadenante, yo envío una tarea al responsable de producción. Cada cual decide qué proceso le incorpora más datos a su gestión.

**Marcos González:** Sí, lo que idealmente se busca es que el ingeniero pueda seleccionar el elemento y cambiar, por ejemplo, el estado. Decir "OK, este elemento ya se encuentra vaciado" y que, de ser posible, cambie de color.

**Néstor del Pozo:** Bueno, hay procesos intermedios. Por ejemplo, la definición de zonas. Una zona es una huella que hago encima de un plano. Esa zona tiene en cuenta todos los objetos que hay en ese nivel y me puede servir para inspeccionar la ejecución de una serie de objetos. La zona puede ser una característica.

**Marcos González:** ¿El formulario va en el elemento o puede adquirir varios elementos?

**Néstor del Pozo:** El formulario va asociado al elemento, pero como el formulario sabe que ese elemento pertenece a una zona, la zona te identifica el resto de elementos. Luego habría que hacer un proceso posterior para actualizar su modelo BIM. Piensa algo, nosotros por premisa, Dalux no gestiona diseños, no toca la información de los modelos. Dalux cumplimenta una base de datos paralela sin alterar la información del diseño. No altera el modelo porque nuestro cliente principal suele ser una constructora, y la constructora no debe alterar los modelos. Los altera el diseñador.

**Marcos González:** Correcto. Nosotros, aunque somos una constructora, generamos nuestros propios modelos a partir de planos. Si ocupamos esa ventaja de poder introducir información desde el visor, y no que el ingeniero haga un reporte manual que

luego nuestro departamento de construcción virtual tenga que introducir. Buscamos plantear ese paso directo.

**Néstor del Pozo:** Hay otra parte que tiene que ver con eso, que está dentro de Box. Dentro de la parte de Box hay un aspecto que llamamos Archivo de Datos BIM (BIM Data Files). Es un archivo que se pega como un adicional a los metadatos de los objetos del modelo. Utilizamos esa metadata a través de una tabla para dar características.

*(Néstor del Pozo comparte su pantalla y muestra la funcionalidad)*

**Néstor del Pozo:** Mira, aquí hay un archivo de "Estado de construcción". Este archivo lo que hace es incorporar metadatos encima de los metadatos que ya tienen los objetos. Es una columna que he denominado "estado de construcción". Dado una serie de objetos que filtro, quiero añadir una columna y sobre esta columna edito y digo: ¿Este está construido? Sí o no. Puedo arrastrar los valores. Esta sería otra forma, quizá más rápida, que permite adicionar un metadato. Y esta tabla es infinita, un concepto puede ser "estado de construcción", otro "fecha de ejecución", otro "coste".

**Marcos González:** OK, si son columnas editables, le estás introduciendo un metadato adicional al objeto. Y esto se puede filtrar, digamos, por ese estado.

**Néstor del Pozo:** Claro. Cuando yo guardo esta información, esos metadatos ya se están incorporando a esos objetos. Si yo vuelvo a mi proyecto, a mi visor, podré filtrar por ese nuevo parámetro.

*(Néstor del Pozo filtra el modelo en el visor)*

**Néstor del Pozo:** He añadido este parámetro "estado de construcción" y he pulsado en "Sí". Y ya me muestra los construidos. O si quiero colorear, pues si esta es mi estructura, ya tengo en color verde aquello que se ha ejecutado.

**Marcos González:** Lo verde ya se encuentra ejecutado. OK, esto podría responder al tema del control del avance.

**Néstor del Pozo:** Son alternativas. Fíjate que esto está pensado para dar una propiedad que probablemente el diseñador no sepa, o añadir una resistencia al fuego que el objeto no tenía. Al final, este BIM Data Files te permite filtrar tu modelo y añadir una propiedad o varias, las que quieras. Le das tú el contexto. Te he enviado por el chat el enlace a este artículo de ayuda.

**Marcos González:** Ah, perfecto, agradecerte. Realmente creo que esto es un valor muy agregado y se encuentra en Box, ¿verdad?

**Néstor del Pozo:** Exactamente, en la parte de Box, ya está incluido.

**Marcos González:** Eso es muy atractivo para la empresa. Queremos lograr eso, que en una reunión de avance se pueda mostrar qué está construido y qué no. No había podido encontrar este ejemplo práctico. No, pues nada más que agradecerte.

**Néstor del Pozo:** Yo tengo ahora otra reunión, pero, en cualquier caso, Marcos, me indicas si necesitas algo más y nos volvemos a conectar.

**Marcos González:** Por supuesto. Ahorita me encuentro en una búsqueda bibliográfica, pero muy posiblemente veo que esto pueda ser integrado. Quizá te pida una reunión más adelante

para ver el tema de flujos más en profundidad. Muchas gracias,  
Néstor.

**Néstor del Pozo:** Cuenta con ello.

**Finaliza entrevista**

# Apéndice N

## Instrumentos para la Recolección de Datos (OE3)

**Entrevistador:** Marcos González Torres

**Entrevistado:** Lucio Custo

### Guía de entrevista para Especialista en Implementación BIM y Takeoff (Lucio Custo)

**Objetivo de la entrevista:** Evaluar la viabilidad de **Autodesk Takeoff** como la solución principal para el proceso de cuantificación de materiales por parte del ingeniero residente. Se busca comprender su aplicación (tradicionalmente de preconstrucción) en un entorno de ejecución de obra, sus capacidades de flujo de trabajo híbrido (2D y 3D) y los posibles modelos de implementación, capacitación y consultoría.

### Guion de la Entrevista

#### Introducción (Guion sugerido)

"Hola Lucio, muchas gracias por el tiempo. Te contacto como parte de mi TFG con la empresa Estructuras. Hemos diagnosticado que la cuantificación manual de materiales es un cuello de botella significativo para el ingeniero residente en obra; actualmente usan planos y escalímetro."

Mi investigación me ha llevado a Autodesk Takeoff como la principal solución, especialmente por su capacidad de manejar un flujo híbrido: cuantificación 2D (desde PDFs, que es como recibimos mucha información) y 3D (desde los modelos Revit que generamos internamente). Mi objetivo es diseñar un flujo de trabajo para que el ingeniero, sin ser un experto modelador, pueda usar esta herramienta para obtener estimaciones rápidas y comparar sus propios cálculos."

#### Bloque 1: Viabilidad de Takeoff para la Ejecución en Obra

"Takeoff se percibe a menudo como una herramienta de preconstrucción. Desde tu experiencia, ¿es viable su uso para un ingeniero residente que ya está *en obra*? Mi idea es que lo use para cuantificaciones rápidas (ej. 'la colada de la semana') más que para el presupuesto inicial."

"La empresa ya genera sus propios modelos Revit a partir de los PDFs del cliente. ¿Cómo maneja Takeoff esta realidad? ¿Puede el ingeniero trabajar con el PDF y el modelo 3D en la misma interfaz, extrayendo cantidades de ambos?"

#### Bloque 2: Flujo de Trabajo y Capacidades de la Herramienta

"El ingeniero residente no sabe usar Revit. ¿Es correcto que Takeoff le permite al usuario seleccionar elementos en el visor y extraer cantidades sin necesidad de saber modelar?"

"Entiendo que la salida principal es un inventario en Excel. ¿Cómo funciona el aspecto colaborativo? ¿Pueden varios usuarios estar cuantificando al mismo tiempo?"

"La empresa ya utiliza Autodesk Docs. ¿Takeoff se integra directamente, permitiendo que el ingeniero siempre trabaje sobre la última versión del modelo centralizado?"

## Bloque 3: Modelo de Implementación y Sigüientes Pasos

"Considerando que esto es para una fase exploratoria, ¿qué modelo de implementación sugieres? Mi idea es proponer un proyecto piloto."

"En lugar de una consultoría completa, ¿sería posible un enfoque más acotado, como una 'bolsa de horas' de consultoría o talleres específicos para capacitar a un pequeño grupo y acompañarlos en ese piloto?"

### Cierre

"Perfecto, Lucio. La información es muy valiosa. Voy a plantear internamente la propuesta de usar Takeoff y este modelo de implementación piloto. Si la gerencia da el visto bueno, me pondré en contacto para explorar una propuesta formal. Muchísimas gracias por tu tiempo."

### Transcripción de la entrevista:

#### Inicia entrevista

**Marcos González** Muchísimas gracias, Lucio, muchísimas gracias más bien por el tiempo, por la oportunidad del espacio. Para darte un contexto así rápidamente: Estoy en lo que es en la fase de diseño, trabajo final de graduación acá en Costa Rica, esto con la empresa Estructura S.A. Ya para esto hemos diagnosticado el proceso manual de lo que es la cuantificación de materiales y pues es un cuello de botella a considerar para el ingeniero residente.

Más o menos un análisis de herramientas y demás llegué a Takeoff, es como la solución digamos más importante ahorita o principal para implementar esto, más que todo por el tema del flujo de trabajo híbrido con la cuantificación 2D y con la cuantificación 3D. Esto básicamente se estaría adaptando de momento a la realidad de la empresa. Ahorita yo lo estaría buscando y lo estaría planteando para el ingeniero residente. El ingeniero de la obra normalmente pues tiene que hacer un proceso de cuantificación pues un poco más manual, tener el plano en 2D digamos y con un escalímetro estar cuantificando, ¿verdad?

Lo que se me planteó en un principio era pues cómo pasar de que él pudiera usar el modelo en campo y pues seleccionar un elemento, por ejemplo, seleccionar un elemento y que éste le dé las características, y Takeoff es la alternativa digamos que ahorita mejor se postula. Entonces ahorita básicamente mi tercer objetivo como tal de mi trabajo es diseñar flujos de trabajo más o menos para que el ingeniero residente pueda implementarlo. Y pues aquí es donde básicamente quiero consultarte más o menos tu experiencia con Takeoff y demás. Yo vi pues un webinar, ¿verdad? Y a través de este te quise contactar.

**Lucio Custo** Bueno, Takeoff es para eso, para estimaciones y cómputos. No sé si para involucrar a la persona que está en obra porque apunta más a la preconstrucción, antes de salir a obra, o sea, para un paso anterior a comprar.

Ahora, Takeoff va a sufrir algunos cambios, se van a agregar algunas *features*, específicamente destinaciones. Eso lo vi en el AU, todavía estará en versión alfa. Y un montón de posibilidades con inteligencia artificial, se va a agregar un asistente. Hoy en día funciona muy bien tanto para 2D como para 3D. Los inputs en 3D: Revit nada más, todavía no trabaja ni con IFC ni con Navis. El input es Revit. Y en 2D el input es PDF.

O sea, vos lo que debería hacer la empresa, si va a recibir documentación de otras empresas, es estudiar bien los pliegos

de licitación para pedir bien los términos de referencia, aclarar cómo vos querés que sea esa entrega. Lo que tiene Takeoff es que, igual que Build, tiene una herramienta con un OCR incluido, donde desglosa el PDF y te hace las publicaciones. Y después tiene inteligencia para saber si eso es una actualización sobre lo mismo, si se agregan más planos o es un reversionado. Etiquetas la lectura del número de plano y el nombre para nombrar los planos y sobre eso empezar a hacer las cuantificaciones.

Vos también tenés la posibilidad de armarte tu biblioteca de paquetes de lo que vas a cuantificar, tanto en modelos BIM como en 2D, y empezar a computar a partir de PDF o modelos de forma colaborativa. Varios a la vez, y el resultado es un inventario que vos le podés exportar a un Excel. Después, cómo se continúa en el flujo de trabajo, a quién vas a involucrar, bueno, ya son decisiones que hay que estudiar.

**Marcos González** Correcto, de hecho, justamente Estructuras es una empresa constructora. Nosotros digamos, por ejemplo, recibimos planos PDF por parte del cliente y la empresa decide generar un modelo en Revit en el cual podamos unificar toda la información y ver temas de interferencias e incongruencias. Justamente es aquí donde pues el ingeniero residente comúnmente trabaja solamente con los planos PDF. El tema es que se está invirtiendo en lo que es los modelos, hay una inversión detrás, entonces se quiere una herramienta que pueda usar el ingeniero residente y pueda extraer cantidades. Y él no es un modelador, él no es un experto.

Indagando en herramientas, básicamente Takeoff es esta que me permite que el ingeniero residente vaya cuantificando en modelo 3D, ¿verdad? E incluso sería darle capacitación para que él pueda extraer cantidades directamente desde los planos 2D y todo unificado en el Autodesk Construction Cloud.

Nosotros creamos nuestros modelos. Normalmente se nos dan los planos PDF y nosotros como constructora desarrollamos el modelo. Pero ya en ejecución, pues es un plotter, empezar a sacar planos y pues el ingeniero en un tema de cuantificación manual. Aquí es donde yo quiero proponer Takeoff.

Estuve indagando varias herramientas, pero realmente ninguna me llega a ofrecer esto: que el ingeniero pueda visualizar el modelo, porque ese modelo sufre cambios. Que ya no va a ser así, que el buque de la puerta cambió... y pues que él pueda tener el modelo 3D y empezar a seleccionar los elementos y extraer las cantidades. Por ejemplo, si va a hacer una colada de tales elementos, que los pueda seleccionar. Takeoff actualmente es la única herramienta que me está permitiendo asegurar esto. Power BI es como para ver los elementos, incluso contamos con Dalux, pero es seleccionar el elemento y solo te da ese volumen y no te genera un paquete. No puedes hacer "la colada de la semana tal", seleccionar tales elementos y [sumar] ese volumen.

Ahorita lo que yo quiero es como generar flujos de trabajo. Es un muy buen primer paso, eso es lo que está en el mercado, se ofrece en este momento.

**Lucio Custo** Sí, tal cual lo que decís. Ahí mencionaste alguna de las ventajas: el que va a estimar no tiene por qué saber modelar ni dibujar ni en Autocad ni en Revit. Va a recibir un modelo o un PDF y va a trabajar sobre eso. Va a generar metadata y su output va a ser un Excel. La otra ventaja es que es colaborativo, o sea, varios pueden estar estimando incluso en el mismo plano a la vez. Y está integrado al flujo de trabajo de Construction Cloud.

¿Y ahí va mi pregunta, ustedes ya están trabajando con la gestión documental en Autodesk Docs?

**Marcos González** Actualmente los modelos se encuentran centralizados y es colaborativo, entran las otras disciplinas. Sí, realmente está centralizado todo en Docs. Pero ahorita el centro común de datos, por decirlo así, es Dalux. Pero siento yo que Takeoff realmente es lo que me lo está planteando.

Usar filtros, como empezar a filtrar por niveles o por tipo de columna, pues el ingeniero lo va a rechazar. E incluso a veces una columna que está en el segundo nivel está amarrada al primer nivel, entonces ya es un tema de modelado. Es eso, que realmente él pueda manipular el modelo 3D y OK, voy y selecciono ese elemento y poder extraer la cantidad. Esto al principio siento yo que será como un tema de comparativa, una revisión un poco más rápida. Obviamente ellos, tal vez personas un poco más arraigadas al PDF y a cuantificar con la calculadora, pero esto toma una enorme cantidad de tiempo. Sería muy bueno poder tener una primera estimación rápidamente.

**Lucio Custo** Yo creo que está acertado ese camino. Es más fácil si ya encima están usando Construction Cloud para algunas cosas. Bueno, yo tengo la camiseta de Autodesk puesta, entonces si me preguntas a mí, es quedarte con un solo entorno común de datos y trabajar todo ahí.

Yo lo que te puedo ofrecer... las licencias yo no las puedo vender en Costa Rica, soy reseller solamente en Argentina. Capacitaciones también soy Autodesk Training Center en Argentina, pero tengo la posibilidad si el negocio lo amerita de expandirme. Y también soy parte de una empresa mucho más grande que es una implementadora BIM que vende servicio de consultoría. Eso lo podría hacer.

Ese servicio, si ustedes quieren atacar solamente esta parte de estimaciones o hacer una implementación más grande a nivel compañía, lo podemos hacer.

**Marcos González** Sí, realmente ahorita mi trabajo pues se está enfocando en cómo mover los modelos al tema de ejecución. Ahorita más que todo es un tema más académico, estoy próximo a graduarme. Es más que todo plantear. Ahorita sería como más un tema pues preguntarte cómo funciona la herramienta, cómo se desenvuelve, cómo podría ayudarme, si algo me estoy pasando de más. Si ya la empresa pues define "OK, sirve, implementémoslo", pues ya pasaríamos a la siguiente etapa de adquisición de licencias y capacitación. Ahorita es una fase exploratoria.

**Lucio Custo** Sí, bueno, en ese caso, mira, si vos estuviste en Argentina y las licencias la empresa la adquiere con nosotros, esa guía, esa mentoría nosotros la hacemos sin costo adicional. Estando en otro país, se me ocurre que podemos hacer una serie de charlas, no una capacitación formal, pero sí charlas estratégicas o talleres. Si están interesados en eso, que incluye demostraciones, podemos cotizar ese servicio más reducido. O una bolsa de horas de consultoría. Con 10 horas de consultoría que le dedicamos a esto, lo vemos. Si te quedas corto, la podés extender. O poner un recurso humano dedicado que te acompañe a demanda.

Si necesitas llevar esta charla a un nivel decisivo, a directorio, para explicarle cómo es la metodología, lo podemos hacer también.

**Marcos González** Justamente ahorita sería plantear Takeoff. Y ya acorde a lo que [decidan], sería dar el siguiente paso. De momento, sí, más que todo ahorita llega a implementarlo en un proyecto piloto para que él pueda testearlo. Yo planteo un flujo de trabajo, él pueda probarlo y yo pueda reportar a través de mi trabajo la realimentación, ¿verdad? "No me gusta", "OK, sí, pero

agradecería más capacitación", "Me gustó la idea, pero no lo pude aprovechar".

**Lucio Custo** Ahí también yo puedo grabar una propuesta que sea un mix entre capacitaciones y acompañamiento en un proyecto piloto. Te lo digo con que tiene que incluir capacitaciones, porque en ese sentido, cuando hay un curso de por medio con certificación, nosotros podemos otorgar las licencias por lo que dure el curso. Eso nosotros deberíamos cotizarlo, ver si a ustedes les sirve. Eso te incluiría que en este acompañamiento con un piloto, dictemos clases y que tengan las licencias para eso. Después las tendrás que adquirir con un reseller local.

Si te parece, mira, yo puedo plantearte varios escenarios o hacer un encuentro con tres, cuatro talleres de una hora y media. Podemos esa propuesta más reducida, que no es una implementación integral.

**Marcos González** Entonces, básicamente yo ahorita, pues hablando ya directamente con el jefe superior y pues plantearte a ver cuál sería la mejor alternativa. Yo por supuesto voy a pujar, ¿verdad? Para que se implemente adecuadamente.

**Lucio Custo** Y si me necesitas para tener una charla esto con directivos y yo explique el alcance de las herramientas, cómo trabajamos nosotros, obviamente conta conmigo, hacemos otra videollamada.

**Marcos González** Perfecto, perfecto. Nada más que agradecerte por el tiempo y estaríamos en contacto.

**Lucio Custo** Dale. ¿Cómo se llama la empresa? Estructuras S.A.

**Marcos González** Sí, creo que la invitación a esta reunión fue a través del correo. Muchísimas gracias por el tiempo.

**Lucio Custo** No, por favor, gracias por contactarme y por confiar de tan lejos. Me pone contento que hayas visto un webinar desde ahí.

**Marcos González** Sí, claro, claro. Muchísimas gracias. Hasta luego.

**Finaliza entrevista**

# Apéndice O

## Instrumentos para la Recolección de Datos (OE3)

**Entrevistador:** Marcos González Torres **Entrevistado:** Julián Chaur González **Guía de entrevista para Especialista de Producto en Dalux (Julián Chaur González)**

**Objetivo de la entrevista:** Validar la funcionalidad avanzada de Dalux, específicamente los "Archivos de Datos BIM" (BIM Data Files), como una solución viable para el control de avance visual. El enfoque es entender cómo un ingeniero residente puede registrar el estado de los elementos (ej. "Construido" / "No Construido") y visualizar este progreso directamente en el modelo 3D mediante un código de colores.

## Guion de la Entrevista

### Introducción (Guion sugerido)

"Hola Julián, gracias por la demostración. Quería profundizar en esta funcionalidad. El ingeniero residente para el que estoy diseñando esta solución no tiene un manejo avanzado de BIM; su proceso actual de control de avance es manual, usando tablas de Excel, lo cual es muy subjetivo, especialmente cuando hay dinero de por medio.

Me gustaría saber si esta herramienta de Dalux puede darle una alternativa para certificar el avance de forma más visual y objetiva, por ejemplo, para el tema de cielos, seleccionando elementos y marcándolos como 'construidos'."

### Bloque 1: Archivos de Datos BIM y Coloreado del Modelo

"Me mostraste que se puede colorear el modelo (ej. verde para 'construido', rojo para 'no construido'). ¿Este coloreado se aplica permanentemente para que todos los usuarios lo vean igual?"

"¿Podrías mostrarme el flujo de trabajo? Entiendo que se crea un 'Archivo de Datos BIM', se le añade una propiedad personalizada (como 'Estado de Construcción'), y luego, en los ajustes, se crea una regla de coloreado basada en los valores de esa propiedad ('Sí' o 'No')."

### Bloque 2: Flujo de Trabajo, Permisos y Actualizaciones

"Dado que los modelos en una constructora son muy cambiantes, ¿qué pasa si se publica una nueva versión del modelo? Si un elemento (como una columna) mantiene su ID único, pero cambia su geometría, ¿se conserva la información de 'Estado de Construcción' que ya se le había asignado en el archivo de datos?"

"Para el flujo de trabajo: ¿quién puede modificar estos archivos de datos? ¿Se pueden asignar permisos específicos a un ingeniero residente para que solo él pueda editar y publicar estos datos de avance?"

"Para confirmar, entiendo que esta modificación de los 'BIM Data Files' es un trabajo de oficina y no se puede realizar desde la aplicación móvil de Dalux, ¿correcto?"

### Bloque 3: Troubleshooting (Caso Específico)

"He intentado crear un archivo de datos para un proyecto (Colegio) y me genera un error. Se me ha advertido que hay elementos duplicados en ese modelo. ¿Es posible que el error al guardar el archivo de datos se deba a que existen elementos con el mismo ID o geometría en el mismo archivo?"

## Cierre

"Perfecto, creo que esto me queda como anillo al dedo. La empresa ya cuenta con Dalux Box, así que esta funcionalidad es un gran plus. Lo de colorear el modelo es una ventaja enorme para la visualización del avance. Ahora me toca desarrollar el flujo de trabajo detallado. Muchísimas gracias por tu tiempo y la ayuda."

## Transcripción de la entrevista:

### Inicia entrevista

**Julián Chaur** Si tú quieres clasificar tu modelo y colorearlo por esa propiedad que tú has creado. Certificación sí, certificación no. Por ejemplo, poner los que tienen sí en verde y los que tienen no en rojo. Eso es algo que también podrías hacer si sabes cómo hacerlo, ¿no?

**Marcos González** Más o menos, no sé si he travesado un poco la verdad, pero no mucho. Justamente te quería como consultar eso, pues el ingeniero es una persona que realmente no tiene un manejo muy avanzado, quizá incluso no llegan a manejar ellos, es un poco más manual el proceso, tal vez controlan esto mismo con tablas de Excel, ¿verdad? Y este elemento o cielos lo tienen que manejar por porcentajes muy globales o por edificios muy específicos y pues esto llega a ser muy subjetivo y pues como hay dinero de por medio, quisiera darle como esa herramienta al ingeniero.

...El ingeniero realmente no es una persona que tiene mucho conocimiento, entonces quisiera yo como darle esa alternativa y que él con los proveedores de servicios o incluso en reuniones propiamente internas de la empresa pues se pueda dar un avance. Muchas personas tal vez dirán que puede ser necesario o no, pero es un tema muy subjetivo, ellos controlan eso a través de tablas de Excel, entonces quisiera yo poder darle esa herramienta. OK, mira, poder seleccionar los elementos, por ejemplo, si se contrata el tema de cielos, él pueda seleccionarlos y pues certificarlos, que si está construido, que si no está construido, incluso darle un porcentaje de avance.

**Julián Chaur** Efectivamente, digamos que para personas de ese estilo que no tienen mucho manejo en Revit, pero que sí a lo mejor saben moverse a través de un modelo como puede ser en el visor de Dalux, es muy útil. ¿Por qué? Porque al final tú le estás poniendo una información que él sin necesidad de tener mayor conocimiento, consigue averiguar en qué estado se encuentra. Te voy a compartir pantalla un segundo si me permites y vemos ese tema porque tenía por aquí algún ejemplo exactamente de lo que tú me comentabas.

Creo que es este. No sé si te fijas aquí yo tengo unos en color verde, otros en color rojo, etcétera. Esto digamos que lo pongo yo para que todas las personas lo vean de la misma manera y puede ser cambiante. ¿Por qué? Porque ese elemento contiene una propiedad que se llama "avance de obra" o "estado de la construcción". Si yo filtro por ese valor aquí, me va a filtrar todos los que están en verde. Eso quiere decir que todos los que están en verde han sido construidos.

Que sería tu mismo caso. Entonces, de una vista rápida, sin necesidad de investigar dentro del propio archivo de datos BIM, la persona que lo consulta en obra a través del móvil, pues

consulta ese tipo de información. Al igual que si seleccionamos esos que estaban en rojo, que pone "no".

¿Esto por qué? Es lo que te comentaba. Cuando nosotros vamos a Ajustes y me voy a Ubicaciones, yo aquí tengo esa opción de colores. Por ejemplo, yo aquí lo he hecho en función de un parámetro que he creado a través de los archivos de datos BIM. Simplemente es crear un nuevo color, le das a añadir, le pones un nombre, eliges un color y eliges qué elementos quieres que se coloreen en función del valor. Entonces yo aquí he puesto "Estado construcción no" y "Estado construcción sí".

Entonces, en ese caso, si yo uno de los elementos que tengo en mi archivo de datos BIM... voy a ir a mis archivos y voy a ir a estado de construcción...

**Marcos González** Estos archivos tienen que publicarse, ¿verdad? Para que se refleje.

**Julián Chaur** Efectivamente. Si estamos trabajando con varias áreas de archivo, esto sería algo temporal o de trabajo antes de que sea publicado. Si yo selecciono ese elemento y le cambio el valor, le digo que "sí", le doy a guardar y en el momento en el que esté publicado... (*comprueba la actualización*) ... Vale, se guardó entonces, perfecto.

**Marcos González** Justamente así, pensando que Estructuras es una empresa constructora, esos modelos realmente son muy cambiantes. ¿Qué pasa si se actualiza el modelo? ¿Estos se guardan digamos o tendré que generarse un nuevo archivo para esa nueva versión o esto se puede ir arrastrando a través de las versiones?

**Julián Chaur** Realmente se va a guardar. Es decir, si el archivo nuevo que es una nueva versión del modelo, por ejemplo, al elemento que yo he marcado y le he ingresado ese parámetro, sigue manteniéndose con su mismo Unique ID (número de identificación único), siempre lo va a reconocer. El archivo de datos BIM se está basando en ese parámetro para poder asignar ese valor adicional.

**Marcos González** ¿Las personas que lo pueden modificar tienen que ser sí o sí administradores o se les puede asignar a ciertas personas?

**Julián Chaur** Claro, tú eso lo puedes hacer como quieras, va a depender del proceso. Si quieres que un grupo de usuarios en concreto, sean las personas que lo revisan, le quieres dar ese permiso, tú se lo puedes conceder. Eliges el grupo de usuario y aquí en permisos le añades ese permiso de publicar información desde Box, desde las carpetas a las que pertenezca.

**Marcos González** Claro, sería como el permiso para que pueda publicar información. Yo lo que necesitaría realmente es que el ingeniero residente pueda ingresar al archivo, seleccionar los elementos, primero categorizar. Se me ocurre que es lo más común para el tema de cielos. Que él pueda modificar el archivo, pueda publicar la información y OK, en una posible reunión con un proveedor, él hace su recorrido y pueda recolectar información.

Sí, entiendo que el archivo no se puede modificar desde dispositivos móviles, ¿verdad? Esto es únicamente desde una computadora.

**Julián Chaur** PC, eso es. Todo lo que es Dalux Aplicación en móvil está orientado al trabajo de obra, pues cualquier tipo de *snag*, incidencia de obra o registro típico que suceda *on site*. Este se entiende más como un trabajo más de oficina.

Te iba a comentar, yo tengo un cliente que hace uso de esto, incluso antes de que existieran estos archivos de datos BIM. ¿Él qué hacía? Colorea todo el modelo en función de si está "no ejecutado" (rojo), "en proceso" (amarillo) y "ejecutado completamente" (verde). Era una cimentación, aquí se llaman bataches, y se hace por fases escalonadas. Así la gente de obra podía saber en qué batache se encontraban y cuál tocaba siguiente. Llevaban ese progreso muy visual. Y eso sí se puede ver en el móvil, porque una vez ha sido ejecutado, simplemente [el de obra] mandaba una solicitud a través de Field a la persona que lo tiene que actualizar [en la oficina]. Eso es ya una comunicación dentro del sistema que retroalimenta el proceso.

**Marcos González** Ahora yo quisiera pues preguntarte por qué quizá me estaría dando un problema con el colegio. Entiendo yo qué sé que tengo archivos duplicados... me arrojó un error que realmente no sé a qué se deba. A la hora de guardar me enviaba un correo en que pues había un problema.

**Julián Chaur** Sí, que lo llegué a ver. Pues déjame revisarlo. Ahí pone el proyecto, lo tengo que revisar con mi equipo de soporte. Yo creo que sé cuál es, porque ahí te está diciendo el External ID. Cuando hay un elemento que se llama exactamente igual, incluso está en el mismo lugar y provienen de archivos con el mismo nombre, pues ahí ya te va a dar error.

**Marcos González** Justamente yo tengo en este proyecto unas escaleras duplicadas. Se me advirtió en un inicio. Es lo único que se me ocurre. Voy a ver si podemos ver rápidamente, mostrar duplicados. Estas son las que están duplicadas.

**Julián Chaur** Selecciona cualquiera de ellas... propiedades... Oculta ese elemento.

**Marcos González** Y aquí queda la otra.

**Julián Chaur** Ahí queda la otra. Yo creo que va a ser eso. ¿Están en archivos independientes o es del mismo archivo?

**Marcos González** Es del mismo archivo.

**Julián Chaur** Pues intenta actualizar ese archivo sin el duplicado, a ver si te vuelve a dar el mismo error. Si te vuelve a dar el mismo error, me lo mandas y ahí ya te echamos un vistazo.

**Marcos González** Muchísimas gracias. Pues realmente yo creo que me queda como anillo al dedo. Ya la empresa cuenta con la herramienta, cuenta con Box y pues realmente creo que es como la mejor alternativa. Y eso de colorear pues creo que le da un plus ciertamente.

**Julián Chaur** Sí, yo creo que eso puede ayudar a la gente que es menos experta en ese tema. De todas maneras, Marcos, si te surge cualquier duda, me mandas un correo a mí directamente, nos sentamos y lo vemos.

**Marcos González** Sí, correcto. Ahora justamente me encuentro en la fase de desarrollar más o menos cuál sería el flujo de trabajo. Tendré que separarlo: nosotros en el departamento BIM que ejecuta el archivo y pues el ingeniero residente que es quien lo utiliza y alimenta esa información.

**Julián Chaur** Claro. Vale, pues cualquier cosa me escribes, ¿vale?

**Marcos González** Por supuesto. Muchísimas gracias por la ayuda, me queda de maravilla.

**Julián Chaur** A ti, enhorabuena por el trabajo. Que tengas buen día y fin de semana. Hasta luego.



# **Procedimiento Operativo Estándar (SOP) para el Departamento de Construcción Virtual**

## **Configuración de proyectos para estimación de materiales con Autodesk Takeoff**

**Autor**

**Marcos Antonio González Torres**

## **Procedimiento Operativo Estándar (SOP) para el Departamento de Construcción Virtual: Configuración de proyectos para estimación de materiales con Autodesk Takeoff**

### **1.0 Propósito y Alcance**

#### **Propósito**

Este documento establece el Procedimiento Operativo Estándar (SOP) que debe seguir el departamento de Construcción Virtual (CV) para la configuración de Take Off en la plataforma Autodesk Construction Cloud (ACC). El propósito fundamental es estandarizar el proceso de preparación del entorno digital para habilitar la herramienta de estimación de materiales que sea preciso, colaborativo y eficiente, asegurando la consistencia de los datos y la facilidad de uso para el Ingeniero Residente en obra.

La implementación de este procedimiento es una acción estratégica alineada con los objetivos de Estructuras S.A. para cerrar la "brecha digital" identificada entre la fase de pre-construcción y la ejecución en campo. Al establecer un flujo de trabajo controlado para la gestión de la información, este SOP actúa como la contramedida fundamental para mitigar los "desperdicios" (Muda) de *sobre-procesamiento* y defectos de métodos de cuantificación manual. Este procedimiento es el primer paso para transformar el rol del Ingeniero Residente de un generador de datos manual a un consumidor y validador de información digital, permitiéndole enfocar su experiencia en actividades de mayor valor añadido.

#### **Alcance**

Este procedimiento aplica exclusivamente al personal del departamento de Construcción Virtual (CV) y abarca el ciclo completo de configuración de un proyecto de Take Off dentro del ecosistema de Autodesk Construction Cloud. El alcance cubre desde la creación inicial del proyecto y la administración de sus miembros, pasando por la estructuración del Entorno Común de Datos (CDE) en Autodesk Docs, hasta la preparación y entrega de un "Paquete de Cuantificación" completamente configurado en el módulo Autodesk Takeoff.

La ejecución de las tareas de cuantificación por parte del Ingeniero Residente, así como el uso de la información generada, quedan fuera del alcance de este documento y se detallan en la "Guía práctica para el Ingeniero Residente: Estimación de Materiales con Autodesk Takeoff".

## 2.0 Roles y Responsabilidades

La ejecución exitosa y consistente de este procedimiento depende de una clara definición de los roles y la asignación de responsabilidades. La siguiente estructura, basada en una matriz RACI (Responsable, Aprobador, Consultado, Informado), delinea las funciones de cada actor involucrado en el flujo de trabajo.

- **Ingeniero de construcción virtual (CV):** Es el **Responsable (R)** y **Ejecutor (A)** de todas las fases técnicas descritas en este procedimiento. Este rol es el encargado de realizar la configuración del proyecto, gestionar los datos y preparar el entorno de cuantificación para su entrega al Ingeniero Residente.
- **Director de Construcción Virtual:** Actúa como el **Aprobador (A)** de la configuración final del proyecto y es **Consultado (C)** en caso de que se requieran desviaciones del estándar establecido, como la implementación de una estructura de carpetas no convencional o la definición de esquemas de permisos especiales.
- **Ingeniero Residente:** Es el usuario final del sistema configurado y, por tanto, es **Informado (I)** sobre la finalización del proceso y la disponibilidad de las herramientas. Actúa como parte **Consultada (C)** durante la fase de estructuración del CDE y la preparación del paquete de Takeoff para asegurar que la organización de la información se alinee con las necesidades y el alcance de los trabajos en obra.

## 3.0 Flujo de Trabajo General

El proceso de configuración se concibe como una cadena de suministro digital, donde el departamento de CV transforma la información de diseño "en bruto" (modelos y planos del cliente) en un producto de datos refinado y listo para el consumo (el paquete de cuantificación) para el equipo de obra.

Este flujo de trabajo garantiza que la información fluya de manera controlada, auditable y consistente, eliminando los riesgos asociados al uso de datos desactualizados o no verificados.

El flujo se estructura en tres macro-fases secuenciales:

1. **Fase 1: Creación y administración del proyecto:** En esta etapa inicial, se establece el "contenedor" digital del proyecto en la plataforma ACC. Esto incluye la creación formal del proyecto utilizando las plantillas estandarizadas de la empresa y la incorporación de todos los miembros del equipo, asignándoles los roles y permisos de acceso a los servicios necesarios.

2. **Fase 2: Estructuración y población del CDE:** Esta fase se centra en la construcción de la "única fuente de la verdad" para la estimación de materiales, de acuerdo con los principios de la norma ISO 19650. El ingeniero de construcción virtual despliega la estructura de carpetas estándar dentro de Autodesk Docs y procede a cargar y publicar de manera controlada toda la documentación de diseño relevante, incluyendo los modelos 3D nativos y los planos 2D.
3. **Fase 3: Preparación del entorno de cuantificación:** Una vez que el CDE está poblado con información fiable, el ingeniero de construcción virtual configura el módulo Autodesk Takeoff. Esto implica la creación de "Conjuntos" específicos para determinados alcances de trabajo y la vinculación de los modelos y planos correspondientes desde el CDE. Esta fase culmina con la entrega formal de un entorno de trabajo listo para usar al Ingeniero Residente.

#### **4.0 Procedimiento detallado de configuración**

Esta sección proporciona las instrucciones técnicas detalladas, paso a paso, para ejecutar la configuración completa del proyecto.

Si el proyecto ya cuenta con una configuración de Autodesk Docs, salte al paso 4.5

##### **4.1 Creación del Proyecto en Autodesk Construction Cloud**

(Proyecto desde cero)

La creación del proyecto es el primer paso y establece la base para toda la gestión de la información. La correcta configuración inicial es fundamental para garantizar la estandarización.

##### **1. Iniciar sesión y acceder a la creación de proyectos:**

- Inicie sesión en la plataforma Autodesk Construction Cloud a través de la URL: <https://acc.autodesk.com>.
- En la página de inicio "Proyectos", haga clic en el botón azul **Crear Proyecto**.

##### **2. Completar los Campos del Proyecto:**

- Se abrirá el cuadro de diálogo "Crear Proyecto". Complete los campos obligatorios (marcados con un asterisco rojo) y los campos adicionales siguiendo los estándares de Estructuras S.A.

- **Nombre del proyecto:** Ingrese el nombre completo y oficial del proyecto, siguiendo la nomenclatura interna de la empresa.
- **Número de proyecto:** Ingrese el código o número de proyecto asignado por la empresa.
- **Tipo de proyecto:** Seleccione el tipo de proyecto que mejor lo describa (ej. Comercial, Infraestructura, etc.).
- **Plantilla:** Este es un paso **mandatorio**. Despliegue el menú y seleccione la plantilla de proyecto predefinida por Estructuras S.A. (ej. "Plantilla Estándar Estructuras S.A."). El uso de la plantilla asegura que la estructura de carpetas del CDE y otras configuraciones se desplieguen automáticamente, garantizando la estandarización y ahorrando tiempo.
- **Dirección, Zona horaria, Fechas de inicio y fin:** Complete estos campos de metadatos con la información correspondiente al proyecto.

El formulario 'Crear proyecto' contiene los siguientes campos:

- Nombre de proyecto \***: Campo de texto con el valor 'TFG Marcos González Torres'.
- Número de proyecto**: Campo de texto con el valor '100'.
- Cuenta \***: Campo de texto con el valor 'marcosoreo2025@gmail.com'.
- Tipo de proyecto \***: Menú desplegable con el valor 'Vivienda unifamiliar'.
- Plantilla**: Menú desplegable con el valor 'Seleccionar una plantilla de proyecto'.
- Dirección**: Campo de texto con el valor 'Introduzca una ubicación'. Hay un enlace 'Introducir dirección manualmente'.
- Zona horaria (?)**: Campo de texto vacío.

En la parte inferior derecha hay dos botones: 'Cancelar' y 'Crear proyecto'.

### 3. Finalizar la creación:

- Una vez completados todos los campos, haga clic en el botón **Crear Proyecto**.
- El sistema procesará la solicitud y, una vez creado el proyecto, lo redirigirá automáticamente a la sección de **Project Admin > Miembros**, donde podrá comenzar a añadir al equipo del proyecto.

## 4.2 Administración de miembros y servicios

Con el proyecto creado, el siguiente paso es invitar a los miembros del equipo y activar los servicios o módulos que cada uno necesita para desempeñar su función.

### 1. **Añadir miembros al proyecto:**

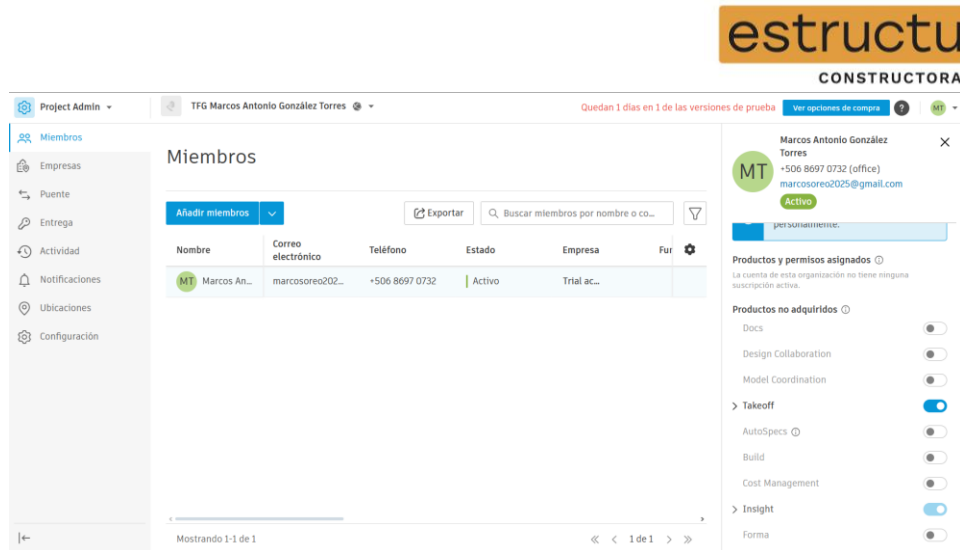
- En la interfaz de **Project Admin > Miembros**, haga clic en el botón **Añadir miembros**.
- En el campo que aparece, ingrese las direcciones de correo electrónico de los miembros del equipo que participarán en el proyecto. Puede pegar una lista de correos separados por comas, espacios o puntos y coma.

### 2. **Asignar empresa y rol:**

- Para cada miembro añadido, asigne la **Empresa** a la que pertenece (ej. "Estructuras S.A.", "Cliente", "Consultor MEP").
- Asigne el **Rol** predefinido que corresponda a su función (ej. "Ingeniero Residente", "Ingeniero de construcción virtual", "Director de Proyecto"). La asignación de roles es fundamental, ya que los permisos de acceso a las carpetas se gestionarán a través de estos, simplificando la administración.

### 3. **Activar servicios (Módulos):**

- Este es un punto de control crítico para garantizar que cada miembro tenga acceso a las herramientas correctas. Para cada miembro, active los interruptores de los servicios correspondientes.
- **Para todos los miembros del proyecto:** Active el servicio **Autodesk Docs**. Esto les dará acceso al Entorno Común de Datos (CDE) del proyecto.
- **Para Ingenieros Residentes, personal de CV y otros roles que requieran cuantificar:** Active adicionalmente el servicio **Autodesk Takeoff**. Sin esta activación, el módulo no será visible ni accesible para el usuario.
- Una vez configurados todos los miembros, haga clic en **Invitar** para enviar las invitaciones por correo electrónico.



### 4.3 Estructuración del Entorno Común de Datos (CDE)

Si bien Dalux funciona como el Entorno Común de Datos (CDE) principal para la empresa, Autodesk Docs se utiliza de manera estratégica para alojar los modelos centrales de Revit y organizar toda la información (modelos y planos) que será consumida por Autodesk Takeoff. La siguiente estructura de carpetas debe implementarse dentro de "Archivos de proyecto" en Docs para asegurar un flujo de trabajo ordenado y consistente.

| Ruta de Carpeta       | Propósito y Nivel de Permiso Sugerido                                                                  |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Archivos de proyecto/ | Contenedor principal para la información del proyecto en Docs.                                         |
| ↳ 01-Planos_cliente/  | Contiene los planos originales proporcionados por el cliente. Permiso: CV (Edición), Resto (Solo Ver). |
| ↳ 02-Modelos          | Contiene los modelos del proyecto. Permiso: CV (Edición), Disciplinas (Edición).                       |

Para crear esta estructura y asignar permisos:

1. Navegue a la herramienta **Archivos** en Autodesk Docs.
2. Haga clic en el menú de tres puntos junto a la carpeta "Archivos de proyecto" y seleccione **Añadir subcarpeta**.
3. Cree la estructura de carpetas principal según la Tabla 2.

Configuración de proyectos para estimación de materiales con Autodesk Takeoff

4. Para cada carpeta, haga clic en el menú de tres puntos y seleccione **Configuración de permisos**.
5. Añada los Roles (ej. "Ingeniero Residente") o Empresas y asigne el nivel de permiso correspondiente (ej. "Solo ver") para controlar el acceso a la información.

#### 4.4 Carga y publicación de documentación de proyecto

La integridad del proceso de cuantificación depende de que se utilice la versión correcta de los documentos. Es fundamental distinguir entre una simple "carga" de archivos y una "publicación" formal desde Revit, ya que solo los modelos publicados son visibles y utilizables en módulos como Takeoff.

##### Publicación de modelos en la nube desde Revit:

Este es el método **obligatorio** para actualizar los modelos 3D que se usarán para la cuantificación.

1. Abra el modelo en la nube deseado en Autodesk Revit.
2. Realice los cambios necesarios y guarde el archivo.
3. Antes de publicar, vaya a la pestaña **Colaborar > Configuración de publicación** y asegúrese de que todos los planos y vistas 3D necesarios para la cuantificación estén incluidos en un conjunto de publicación.
4. Vaya a la vista de **Inicio de Revit**, navegue a **Autodesk Docs** y localice su proyecto.
5. Busque el modelo que desea actualizar, haga clic en el menú de tres puntos (...) a la derecha y seleccione **Publicar la versión más reciente**.
6. El proceso se ejecutará en segundo plano. Una vez completado, la nueva versión del modelo estará disponible en Autodesk Docs y, por consiguiente, en Autodesk Takeoff.

##### Carga de planos 2D (PDF)

Este método se utiliza para los planos en formato PDF.

1. Navegue a la carpeta de destino en Autodesk Docs 01-Planos\_cliente/
2. Arrastre y suelte los archivos PDF desde su explorador de archivos local a la ventana del navegador.

- Autodesk Docs cargará los archivos. Si un archivo con el mismo nombre ya existe, el sistema creará automáticamente una nueva versión (V2, V3, etc.), manteniendo un historial completo de cambios.

Nota. Este proceso es realizado con los planos proporcionados por el cliente, si el ingeniero desea realizar cuantificaciones con planos de taller de la constructora, debe comunicar esta necesidad a CV.

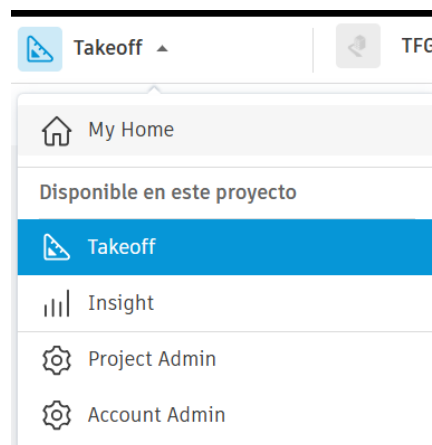
#### 4.5 Preparación del Entorno de Cuantificación (Autodesk Takeoff)

Esta es la fase final de la configuración, donde se prepara el entorno de trabajo para el Ingeniero Residente. Este proceso se divide en la configuración global del proyecto en Takeoff, la publicación de los documentos y la creación de los paquetes y tipos de medición que estructurarán el trabajo.

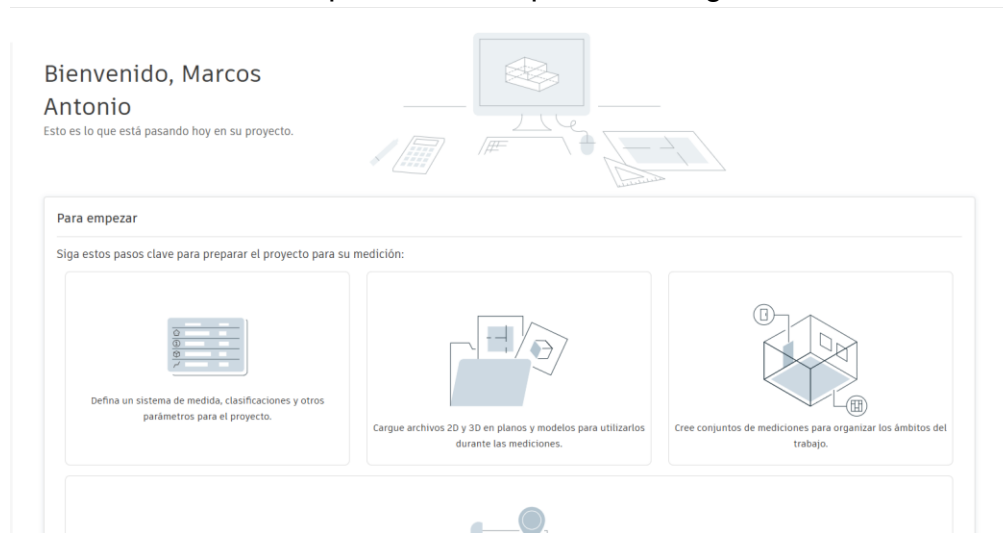
##### 4.5.1 Configuración inicial del módulo Takeoff

Antes de iniciar cualquier cuantificación, es mandatorio configurar los parámetros base del proyecto. Esta acción se realiza una sola vez.

- Acceder al módulo Takeoff:** En la esquina superior izquierda de la interfaz de ACC, utilice el selector de productos y elija **Takeoff**.



2. **Navegar a configuración:** Dentro del módulo Takeoff, siga las indicaciones definidas por el módulo para la configuración.

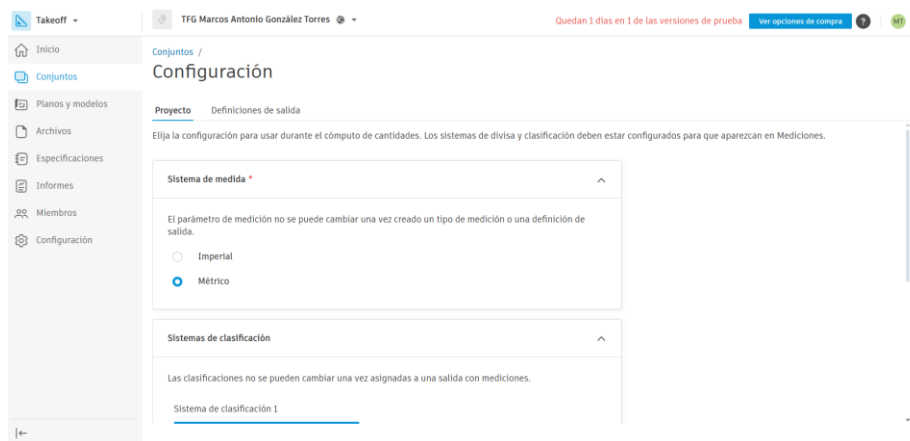


3. **Definir sistema de medición:** Seleccione el sistema de medición. Para Estructuras S.A., el estándar es **Métrico**.

- **Importante:** Esta configuración no se puede cambiar una vez que se ha creado el primer "Tipo de Medición" en el proyecto.

4. **Configurar sistemas de clasificación:** Es opcional pero la plataforma permite cargar hasta dos sistemas de clasificación para organizar los datos (ej. MasterFormat, UniFormat). Para estandarizar, descargue la plantilla de Excel proporcionada, complétela con los códigos y descripciones estándar y súbala a la plataforma.

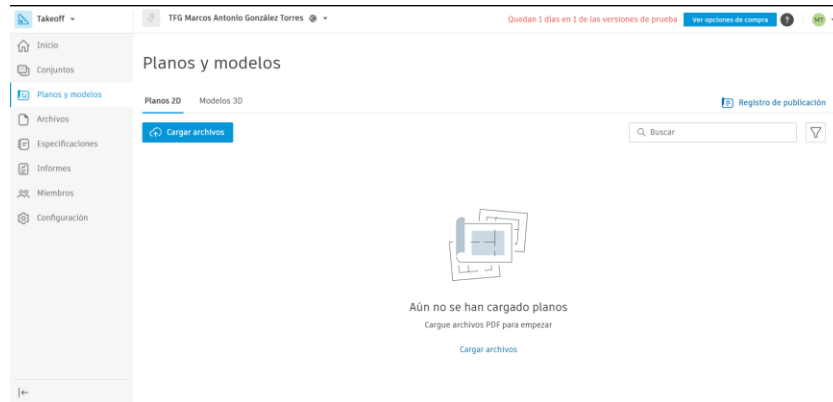
5. **Establecer moneda:** Seleccione la moneda que se utilizará para los costos del proyecto (USD de preferencia ya que ACC no cuenta con colones).



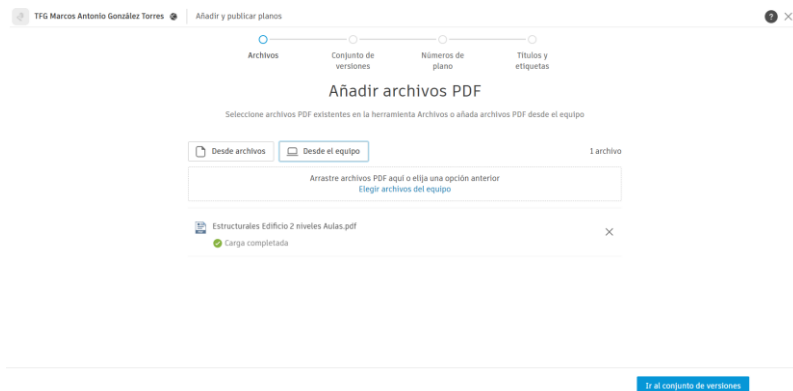
#### 4.5.2 Publicación de planos y modelos en Takeoff

Para que los documentos puedan ser utilizados, deben ser publicados en el entorno de Takeoff.

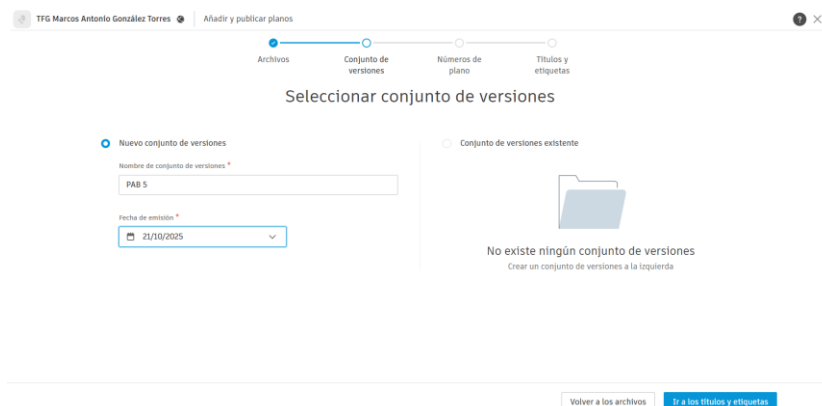
1. **Publicar planos 2D:** Vaya a la pestaña de planos 2D, haga clic en **Cargar archivos**



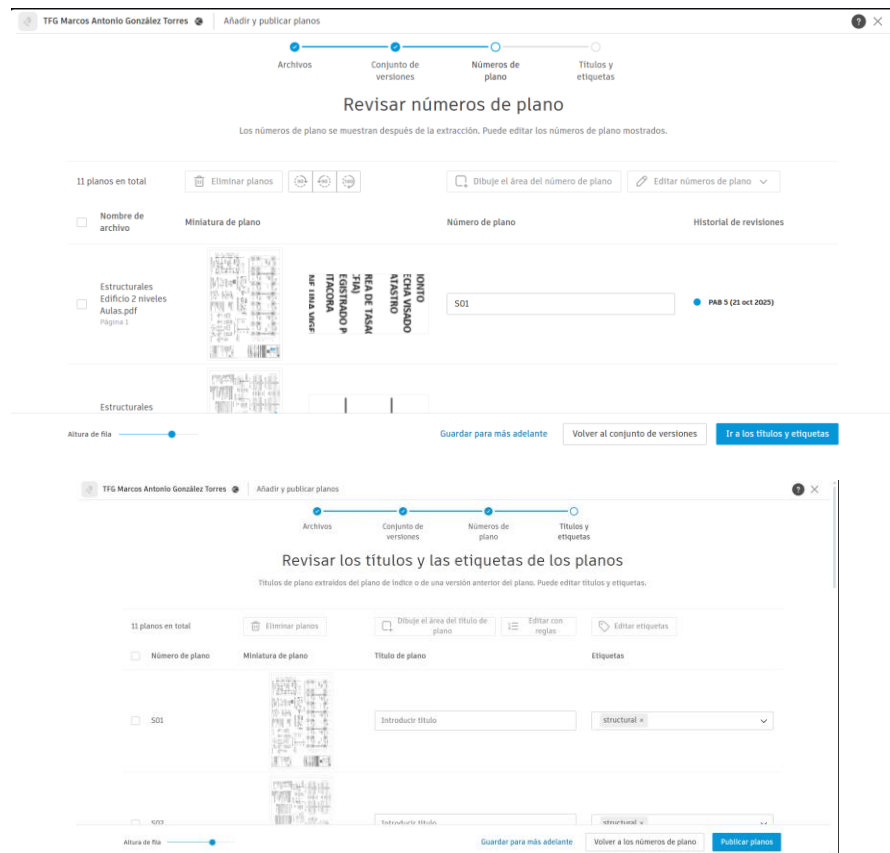
Seleccione los archivos PDF desde su ordenador o desde una carpeta en Autodesk Docs.



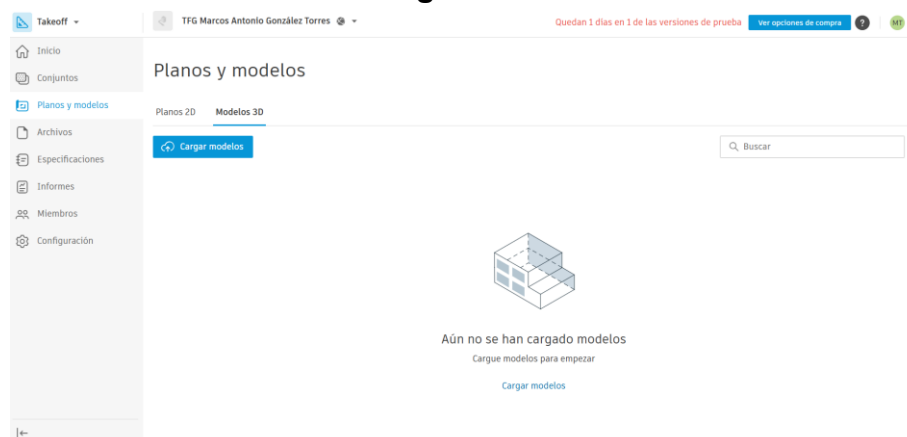
Genere un conjunto de versiones para los planos del proyecto.



El sistema procesará los archivos, extraerá los números de plano y títulos, y los publicará, de igual forma compruebe el número y título del plano, además de la disciplina de estos.



## 2. Cargar modelos 3D: Vaya a la pestaña de modelos 3D y haga clic en **Cargar modelos**.

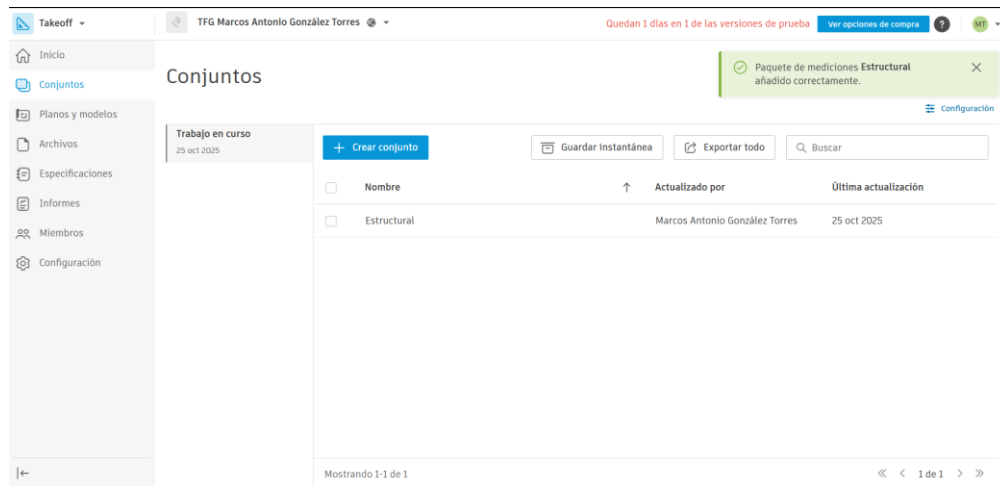


Seleccione los archivos RVT o IFC desde su ordenador o publíquelos directamente desde la herramienta **Archivos** de Docs.

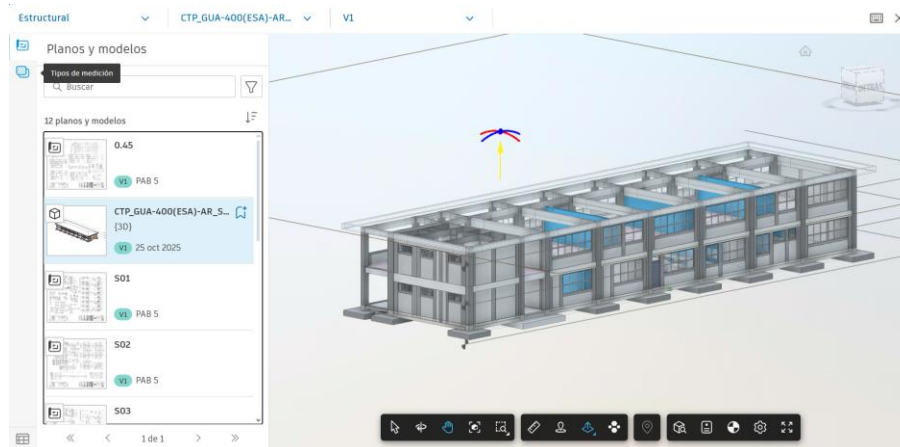
#### 4.5.3 Creación de paquetes de cuantificación (Conjuntos)

Un "Conjunto" es un contenedor para un alcance de trabajo específico. Es la forma de organizar las mediciones.

1. **Crear un paquete/conjunto:** Dentro del módulo Takeoff, vaya a la pestaña **Conjuntos** y haga clic en **Crear paquete**.
2. **Asignar Nombre:** Asigne un nombre descriptivo que sea fácilmente identificable para el ingeniero, por ejemplo: "EST-PAB5-Cimentaciones".



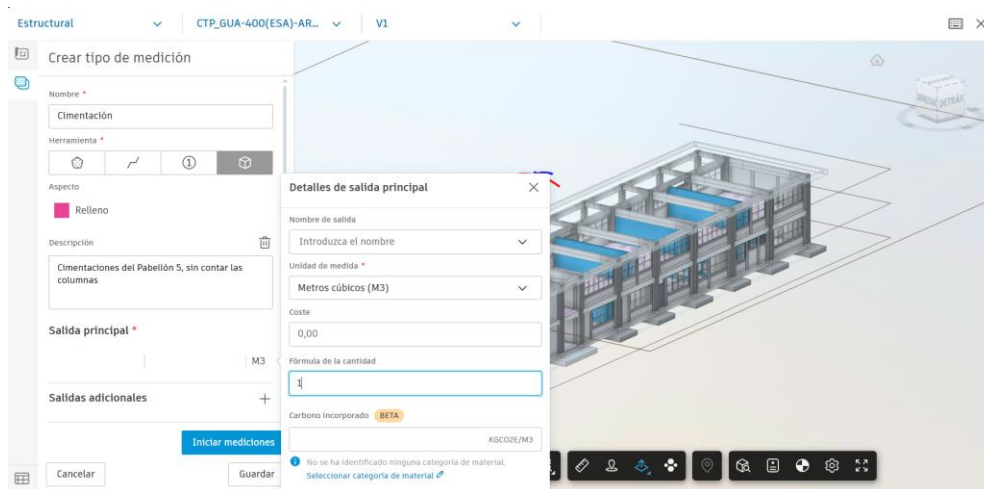
3. **Vincular Planos y Modelos al Paquete:** Una vez creado el paquete, ábralo. Se le pedirá que añada los archivos para la cuantificación. Seleccione los planos y modelos pertinentes que publicó en el paso anterior.



#### 4.5.4 Creación de los tipos de medición (Takeoff Types)

Esta es la última etapa de preparación por parte de CV. Un "Tipo de Medición" es una plantilla preconfigurada que define qué se va a medir y cómo, simplificando drásticamente el trabajo del ingeniero.

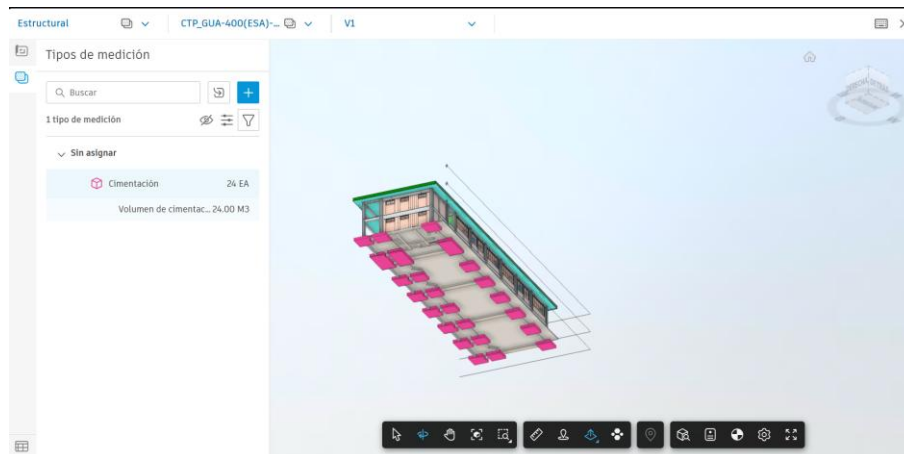
1. **Acceder al panel:** Dentro de un conjunto, abra un plano o modelo y seleccione el panel de **Tipos de Medición**.
2. **Crear un nuevo tipo:** Haga clic en el botón azul + para crear un nuevo tipo de medición.
3. **Configurar el Tipo de Medición:**
  - **Nombre:** Asígnele un nombre claro y estandarizado (ej. "Concreto - Cimentaciones", "Acero - Refuerzo Longitudinal").
  - **Herramienta:** Seleccione la herramienta adecuada: **BIM** para extracción 3D, o **Lineal, Área, Conteo** para mediciones en 2D.
  - **Salida Principal y Adicionales:** Defina qué se va a medir. Para cada "salida" (ej. Volumen, Área, Longitud), configure:
    - **Unidad de medida:** (ej. Metros cúbicos (M3), Metros (M)).
    - **Clasificación:** Asocie la medición a los sistemas de clasificación que configuró previamente. Esto es fundamental para la organización de los datos.
    - **Fórmula:** Para extracción 3D directa, la fórmula es "1". Se pueden crear fórmulas más complejas si es necesario (ej. para incluir desperdicios).



Nota. En caso de que el elemento no tenga la propiedad de volumen incluida, este debe extraerse con una fórmula simple con las propiedades de los elementos.

4. **Guardar:** Guarde el tipo de medición. Repita el proceso para todos los materiales y elementos que el ingeniero necesitará cuantificar.

Nota. Debe de haber una buena comunicación con el ingeniero ya que este es quien decide qué cuantificar y cómo hacerlo.



#### 4.5.5 Notificación y Entrega

Una vez que el paquete de cuantificación esté configurado con todos los archivos necesarios y los tipos de medición predefinidos, notifique formalmente al Ingeniero Residente (vía correo electrónico o el sistema de comunicación del proyecto) que el entorno está listo para su uso. Esto marca la finalización del procedimiento y la entrega del producto digital al equipo de obra.

#### 5.0 Control de Cambios y Mantenimiento

Este Procedimiento Operativo Estándar es un documento vivo, sujeto a mejoras y actualizaciones a medida que evolucionan las herramientas de software y los procesos de la empresa.

Cualquier modificación a este procedimiento, incluyendo cambios en la estructura de carpetas estándar, roles, o flujos de trabajo, debe ser solicitada

formalmente al Director de Construcción Virtual para su revisión y aprobación. El departamento de CV realizará una revisión de este documento de forma anual, o cuando Autodesk anuncie cambios significativos en la plataforma, para garantizar que las instrucciones se mantengan precisas y alineadas con las mejores prácticas de la industria.



# **Guía práctica para el Ingeniero Residente**

**Estimación de Materiales con  
Autodesk Takeoff**



**Estructuras S.A.**



## Guía práctica para el Ingeniero Residente: Estimación de Materiales con Autodesk Takeoff

### 1.0 Introducción y objetivos de la guía

Esta guía proporciona al Ingeniero Residente de Estructuras S.A. el procedimiento detallado para utilizar la plataforma Autodesk Takeoff como la herramienta tecnológica seleccionada para modernizar y optimizar el proceso de estimación de materiales. El propósito de este nuevo sistema es reemplazar el proceso de cuantificación manual, conocido como "cuantificación", el cual ha sido identificado como una fuente de "desperdicios" bajo la filosofía Lean Construction.

Específicamente, se busca eliminar el **sobre-procesamiento**, que se refiere a las horas que el personal de ingeniería invierte en tareas de cálculo repetitivas, y los defectos, que representan el alto riesgo de imprecisiones que pueden derivar en sobrecostos o retrasos críticos en la obra.

La implementación de este flujo de trabajo digital le permitirá:

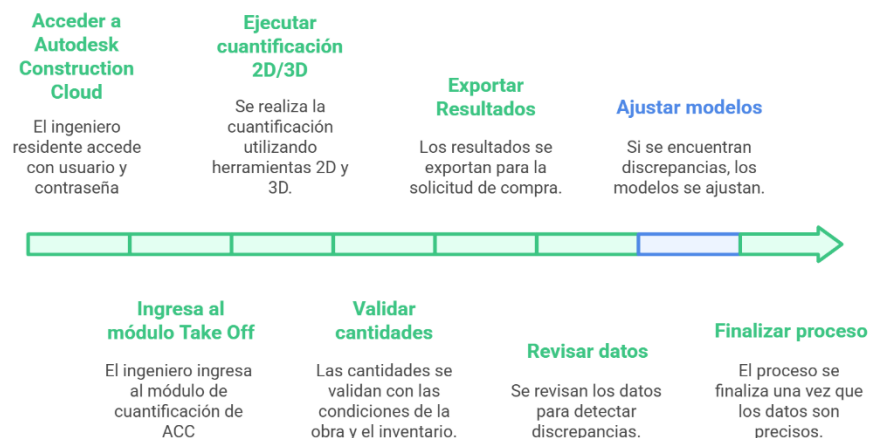
- **Reemplazar el proceso manual** de "cuantificación" con una herramienta digital que automatiza la extracción de datos, aumentando significativamente la precisión y la fiabilidad de las solicitudes de materiales.
- **Reducir drásticamente el tiempo** que el Ingeniero Residente dedica a tareas de cálculo, permitiéndole reenfocar su experiencia en actividades de mayor valor añadido, como la planificación logística, la supervisión de la calidad en campo y la gestión proactiva del proyecto.
- **Mitigar los riesgos financieros** asociados a errores de cálculo, como la sobre-compra de materiales que genera desperdicio o los retrasos en la ruta crítica de la obra por falta de insumos.
- **Establecer un flujo de trabajo híbrido 2D/3D** que se adapta a la realidad operativa de Estructuras S.A., permitiendo la cuantificación de elementos modelados (ej. concreto) y no modelados (ej. acero de refuerzo) dentro de una única plataforma integrada.

## 2.0 Flujo de trabajo general

El nuevo proceso de estimación de materiales se concibe como un flujo de trabajo colaborativo y digital, que conecta las actividades de la oficina técnica con las necesidades de la obra. Este sistema se apoya en el Entorno Común de Datos (CDE) de la empresa en Autodesk Docs para garantizar que la información fluya de manera controlada y fiable.

El flujo de trabajo redefine el rol del Ingeniero Residente. En el proceso tradicional, el ingeniero es un generador de datos a través del cálculo manual. En este nuevo sistema, se transforma en un consumidor y validador de datos generados digitalmente, aplicando su juicio y experiencia para asegurar la calidad de la información antes de proceder con la solicitud de compra.

### Proceso de planificación de materiales Take Off



## 3.0 Procedimiento detallado

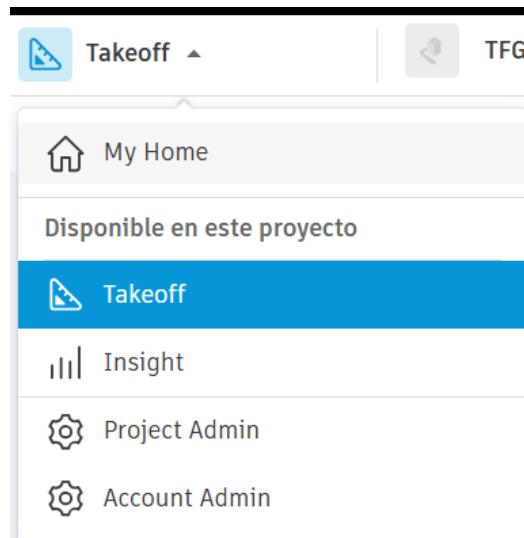
Esta sección describe paso a paso el proceso para realizar la cuantificación de materiales utilizando la plataforma Autodesk Takeoff.

### 3.1 Acceso y creación del paquete de cuantificación

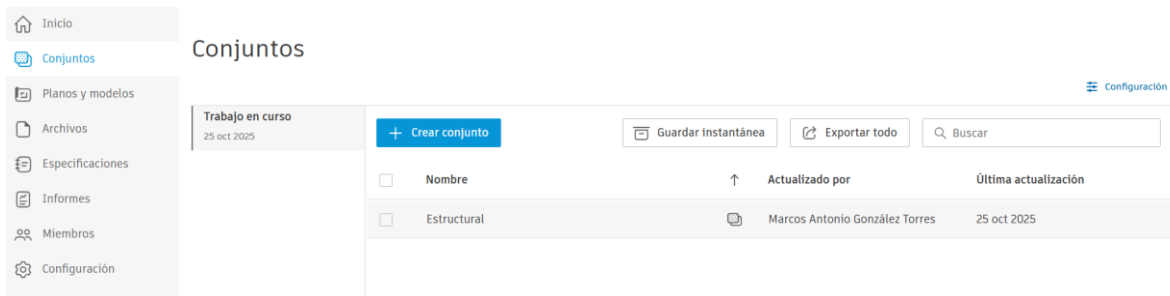
El primer paso consiste en acceder a la plataforma y organizar el entorno de trabajo, agrupando los documentos necesarios para un alcance de trabajo específico.

### Guía práctica para el Ingeniero Residente: Estimación de Materiales con Autodesk Takeoff

1. Inicie sesión en la plataforma Autodesk Construction Cloud (ACC) con su usuario y contraseña asignados.
2. Una vez dentro, navegue hasta el proyecto correspondiente en el que está trabajando.
3. En el menú de la izquierda, seleccione el módulo **Takeoff** para acceder a la herramienta de cuantificación.



4. Ingresa al conjunto que desea cuantificar, este se puede solicitar previamente al departamento de Construcción Virtual y puede ser, por ejemplo: Estructural PAB 5, Arquitectónico PAB 5, Cuantificación de ventanas PAB 3, etc, Se ajusta a las necesidades del ingeniero residente.



### 3.2 Ejecución de cuantificación 3D

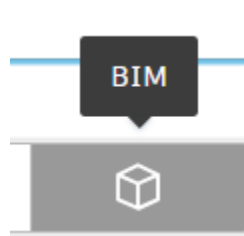
Este procedimiento se utiliza para extraer cantidades de forma automática a partir de los elementos que están modelados en 3D.

1. Dentro de su conjunto, abra el visor del modelo 3D.

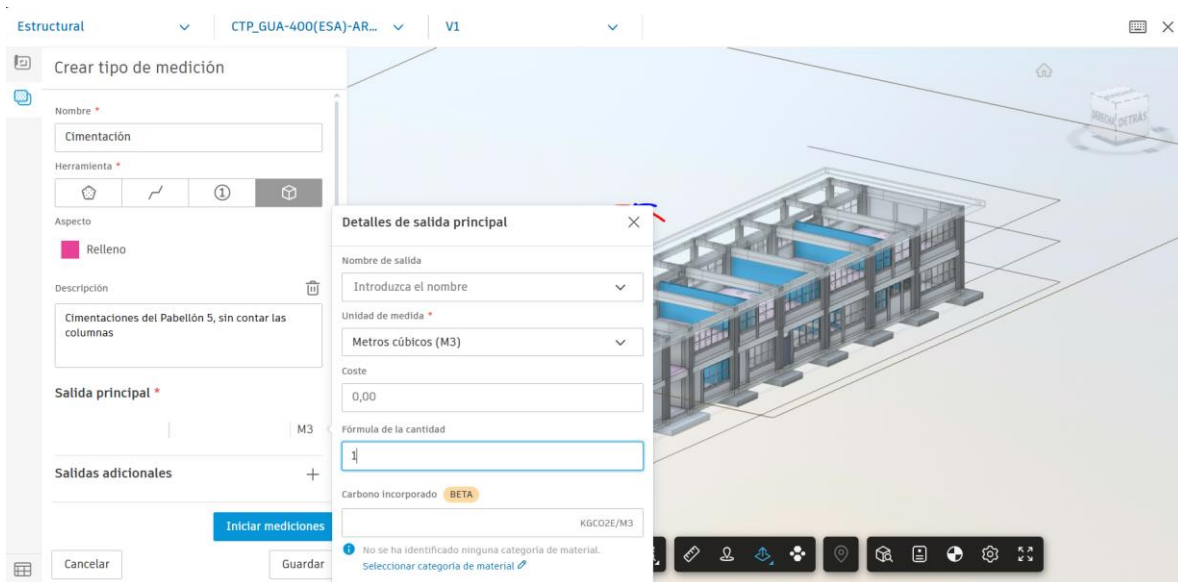
### Guía práctica para el Ingeniero Residente: Estimación de Materiales con Autodesk Takeoff

2. Cree un nuevo **"Tipo de medición"**. Este paso es fundamental para definir qué va a medir y cómo.

- **Nombre:** Asígnele un nombre claro (ej. "Cimentación", "Columnas").
- **Herramienta:** Seleccione la herramienta de modelo 3D (BIM).



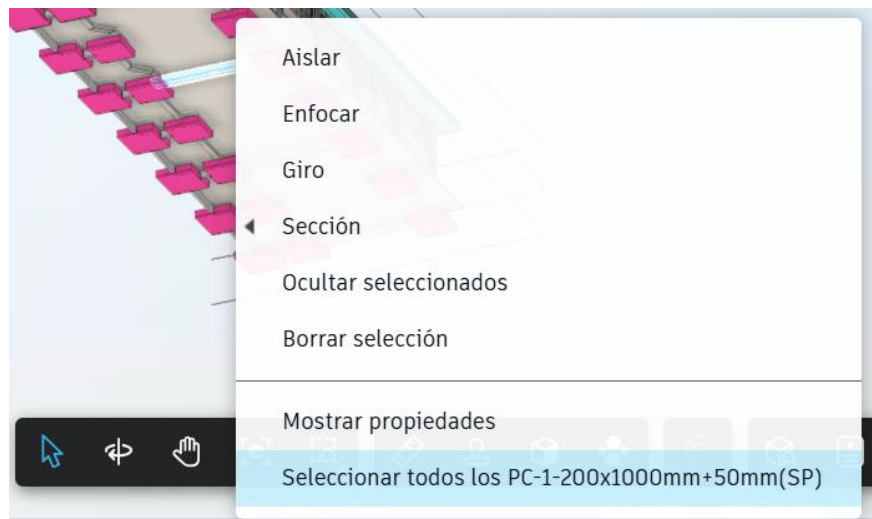
- **Salida principal:** Defina la unidad de medida (ej. "Metros cúbicos (M3)") y la fórmula. Para una extracción directa, la fórmula es simplemente "1", lo que indica al sistema que tome el valor de la propiedad del modelo bien se pueden crear fórmulas para incluir desperdicios como  $1*1,1$ .



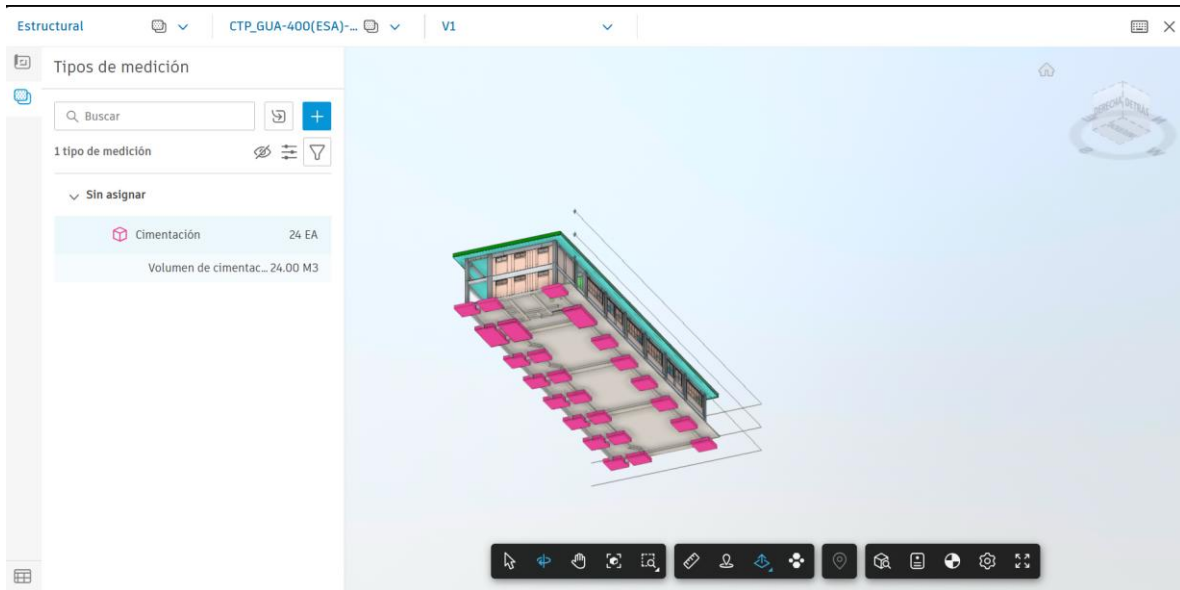
Nota. En caso de que el elemento no tenga la propiedad de volumen incluida, este debe extraerse con una fórmula simple con las propiedades de los elementos.

The screenshot shows a software interface for material estimation. On the left, there's a panel with a table for material assignments. The first row shows 'Volumen cimentac...' with 'Sin asignar' and 'M3'. Below this are sections for 'Salidas adicionales' and 'Asignaciones de modelo'. Under 'Asignaciones de modelo', there are three rows for assigning dimensions: 'Asignar Longitud a:' with 'Length', 'Asignar Anchura a:' with 'Width', and 'Asignar Grosor a:' with 'Foundation Thickness'. On the right, there's a 'Coste' field with '0,00', a 'Fórmula de la cantidad' field with 'Length \* Width \* Thickness', and a 'Carbono incorporado' field with 'BETA' and 'KGC02E/M3'. A message at the bottom right says 'No se ha identificado ninguna categoría de material. Seleccionar categoría de material'.

3. Con el "Tipo de medición" activo, seleccione en el visor 3D todos los elementos que desea cuantificar (ej. todas las cimentaciones y vigas de amarre de la cimentación). Puede hacerlo uno por uno o seleccionando una y dar click derecho para seleccionar todos los ejemplares iguales.



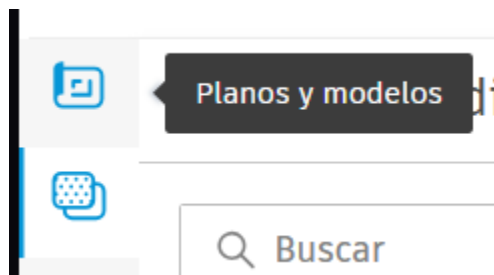
4. A medida que selecciona los elementos, observe cómo el sistema los resalta visualmente (generalmente con un color seleccionado anteriormente) y calcula de forma automática la cantidad total, que se muestra en el panel izquierdo. (Si no se muestra puede abrirlo en la esquina inferior izquierda)



### 3.3 Ejecución de Cuantificación 2D (Ej. Acero de Refuerzo)

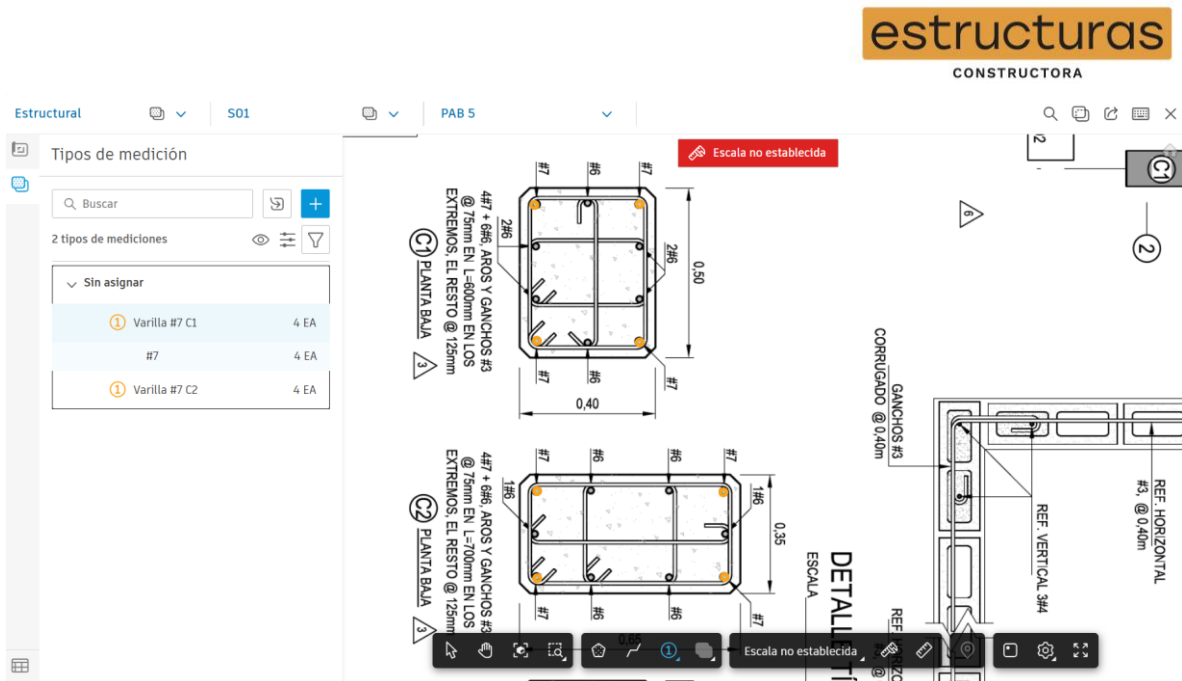
Este procedimiento es la solución para cuantificar elementos que no están modelados en 3D, como el acero de refuerzo, utilizando los planos 2D.

1. Dentro del mismo paquete de cuantificación, cambie la vista y abra el plano estructural 2D correspondiente al despiece del acero (Parte superior izquierda).



2. Cree un nuevo "Tipo de medición" específico para el acero. Para esta tarea, utilizará principalmente dos herramientas:
  - **Medición Lineal:** Para trazar y sumar las longitudes de las diferentes varillas de acero.
  - **Conteo:** Para contar el número de unidades de estribos, ganchos u otros elementos repetitivos.
3. Trace digitalmente sobre el plano las longitudes de las varillas y marque las unidades a contar. El sistema sumará automáticamente todas las mediciones asociadas a este "Tipo de medición".

**Guía práctica para el Ingeniero Residente: Estimación de Materiales con Autodesk Takeoff**



**Nota:** Este flujo de trabajo híbrido es una de las capacidades más importantes de la herramienta para Estructuras S.A. Permite capitalizar la información del modelo 3D para el concreto y, al mismo tiempo, resolver la necesidad de cuantificar el acero desde los planos 2D, todo dentro de una única interfaz integrada.

### 3.4 Consolidación y validación en el inventario

Una vez completadas las mediciones 2D y 3D, el paso final es revisar y validar el listado consolidado de materiales.

1. Navegue a la pestaña **"Inventario"** dentro de su paquete de cuantificación.
2. Revise la tabla que muestra el resumen de todas las cantidades que ha medido, agrupadas por "Tipo de medición" (ej. Concreto y Acero).
3. Este es el punto de control de calidad humano. Utilice su experiencia y juicio de ingeniería para validar que las cantidades totales son razonables y consistentes con el alcance del trabajo definido. Si detecta alguna inconsistencia, puede volver a los visores 2D o 3D para revisar sus mediciones.

Inventario

Agrupar por

Documento

Exportar

Nombre

Cantidad

Unidad

Coste

Coste total

CTP\_GUA-400(ESA)-AR\_ST-PAB5...

Cimentación - Volumen de ci...

24.00

M3

S01

Varilla #7 C1 - #7

4

EA

Varilla #7 C2 - #7

4

EA

Haga clic en un elemento del panel de la izquierda para ver los ejemplares

**Guía práctica para el Ingeniero Residente: Estimación de Materiales con Autodesk Takeoff**

Nota. Esta información puede ser exportada a un archivo Excel (xlsx) en el botón exportar.

#### 4.0 Procedimiento de verificación manual

Este procedimiento, basado en la medición física en campo, no es el método principal de cuantificación, sino un complemento esencial para el control de calidad y la auditoría del proceso digital. Su propósito es "confiar, pero verificar".

1. **Identificación:** En la obra, seleccione un elemento constructivo clave que esté listo para ser vaciado o que ya haya sido construido (ej. una cimentación encofrada, una columna).
2. **Medición:** Utilizando una cinta métrica, mida las dimensiones físicas reales del elemento (largo, ancho, alto).
3. **Cálculo y comparación:** Calcule manualmente el volumen o la cantidad correspondiente y compárela con el valor que obtuvo del modelo en Autodesk Takeoff.

**Nota:** Este proceso de auditoría es fundamental por dos razones. Primero, sirve para validar periódicamente que el modelo digital refleja con precisión la realidad. Segundo, es indispensable para cuantificar elementos que hayan sufrido modificaciones de campo autorizadas que aún no se han actualizado en el modelo de diseño.



# **Procedimiento Operativo Estándar (SOP) para el Departamento de Construcción Virtual**

## **Configuración de Dalux BIM Data Files**

**Autor**

**Marcos Antonio González Torres**

## Procedimiento Operativo Estándar (SOP) para el departamento de Construcción Virtual: Configuración de Dalux BIM Data Files

Este documento establece el procedimiento estándar que debe seguir el departamento de Construcción Virtual (CV) para la configuración de la herramienta Dalux BIM Data Files en todos los proyectos de Estructuras S.A.

### 1.0 Propósito y Alcance

- **Propósito:** Estandarizar el proceso de configuración de la herramienta Dalux BIM Data Files para habilitar un sistema de control visual del avance de obra, asegurando la consistencia de los datos y la facilidad de uso para el Ingeniero Residente.
- **Alcance:** Este procedimiento aplica al personal del departamento de Construcción Virtual (CV) y abarca desde la creación de la estructura de datos hasta la configuración de las reglas de visualización por colores. Su ejecución es un prerequisite para el inicio de las labores de construcción en cualquier proyecto nuevo.

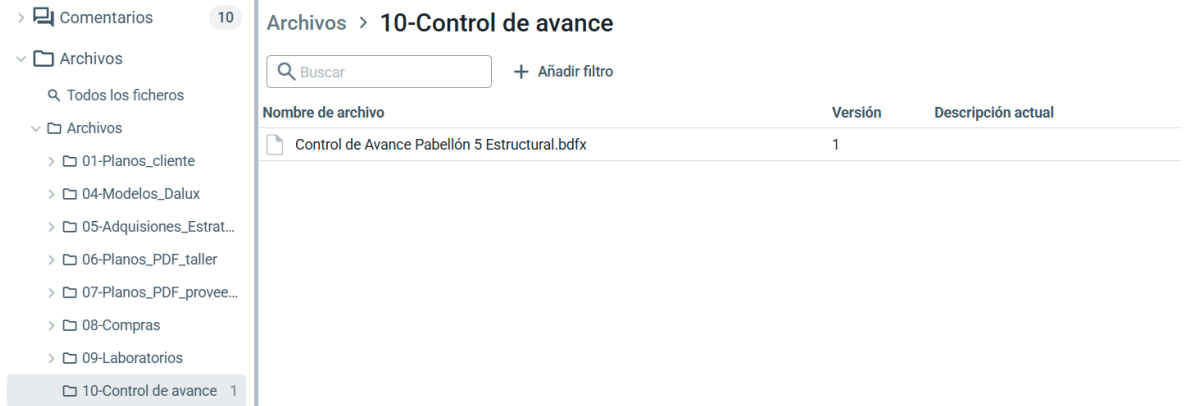
### 2.0 Roles y Responsabilidades

- **Especialista BIM (CV):** Responsable (R) y Ejecutor (A) de todas las fases de este procedimiento.
- **Director de Construcción Virtual:** Aprobador (A) de la configuración final y Consultado (C) en caso de desviaciones del estándar o necesidad de crear propiedades personalizadas no contempladas en este SOP.

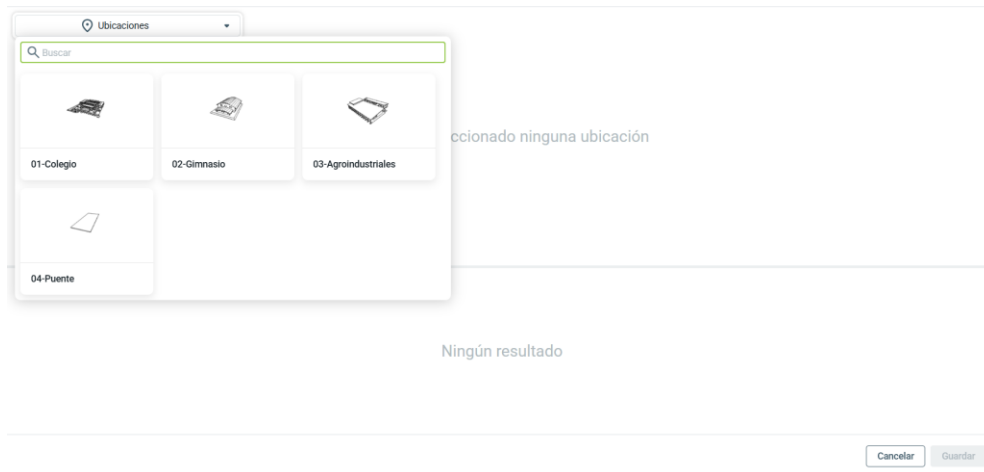
### 3.0 Procedimiento de Configuración Inicial (Por Proyecto)

Este procedimiento se debe ejecutar una única vez al inicio de cada proyecto.

- **Creación de la estructura de carpetas y archivos:**
  1. Acceda al proyecto en la plataforma web o desde Dalux desktop.
  2. Cree una nueva carpeta siguiendo la convención: Control del Avance.
  3. Dentro de esta carpeta, cree un nuevo Archivo de Datos BIM.
  4. Asigne el nombre siguiendo la convención: Control de Avance [Nombre Edificio] [Disciplina] (ej. Control de Avance Pabellón 5 Estructural).



5. En el asistente de creación, seleccione el edificio correcto al que se asociará el archivo (ej. Colegio).

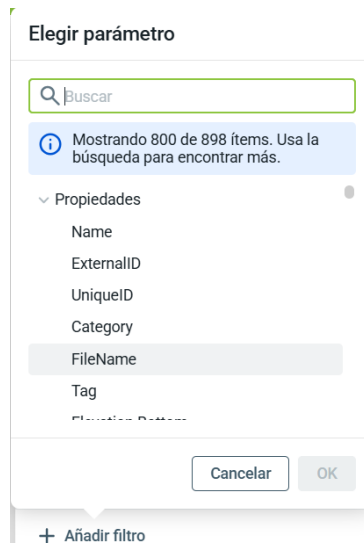


- **Filtrado de elementos**

Utilice la herramienta de "Añadir Filtros" de Dalux para filtrar los elementos de interés, esto es necesario para solamente visualizar aquellos elementos que sufrirán de la modificación.

Para proyectos que se componen por diferentes modelos de Revit, se debe primero hacer un filtrado por nombre de archivo (FileName) para que no haya

interferencia ya que las propiedades se vinculan al ID del elemento y al FileName, por lo que solo se puede controlar por edificio y no un conjunto de estos.



Una vez filtrado el edificio de interés, se pueden agregar más filtros acordes a las necesidades del ingeniero residente, por ejemplo, controlar el avance solo de la estructura del edificio por lo que se recomienda añadir más filtros, pero de categoría (Category) ya que permite filtrar únicamente los elementos de interés como por ejemplo las fundaciones (Structural Foundations), Columnas (Structural Columns), vigas (Structural Framing) y demás elementos.

Este filtrado va acorde a las necesidades explícitas del ingeniero por lo que esta guía solo sugiere unas pequeñas selecciones a modo de ejemplo:

Control de avance ventanearía (Windows)

Control de avance cielos (Cellings)

Control de avance puertas (Doors)

Control de avance cubiertas (Roof)

Incluso el filtrado de elementos se puede lograr por parámetros indicados por el usuario como lo puede ser para elementos que estén en un rango de altura (Height), anchura (width).

El filtrado es una característica muy amplia por lo que queda a libertad creativa acorde a la necesidad específica por lo que este debe adaptarse a las necesidades específicas del control del avance.

Se promueve que el ingeniero del departamento de Construcción Virtual y el ingeniero residente exploren esta sección para encontrar el balance perfecto a las necesidades.

Nota. El debe asegurar un correcto filtrado para el caso de aposentos que queden cerrados ya que, en la manipulación del archivo, no se permiten generar cortes u ocultar elementos por lo que la asignación de la propiedad podría no lograrse en casos en los que no se acceda adecuadamente desde el visor 3D

- **Definición del esquema de propiedades:**

1. Dentro del archivo recién creado, se recomienda definir las propiedades personalizadas acorde al esquema estándar definido en la Tabla 1 para garantizar una correcta introducción de estados a los elementos, esto ya que, al Guardar el documento por primera vez, no se podrán modificar las propiedades por lo cual si la definición no fue adecuada se tendría que generar un nuevo archivo.

Tabla 1. Esquema de propiedades estándar para control de avance

| Nombre de Propiedad    | Tipo de Dato      | Valores sugeridos                                      | Descripción / Uso                                                                              |
|------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estado de construcción | Lista Desplegable | Ej: Construido, En proceso (configurable por proyecto) | Estado principal del elemento.<br>Propiedad clave para la codificación por colores del avance. |
| Fecha Ejecución        | Fecha             | Formato: DD/MM/AAAA                                    | Registra la fecha en que el estado del elemento cambió a "Construido".                         |

De igual forma que el filtrado, la creación de las propiedades tiene gran variedad de alternativas por lo que un trabajo en conjunto del ingeniero del departamento de Construcción Virtual con el ingeniero residente garantiza que el archivo que se genere sea realmente de utilidad y se cumpla con el objetivo de este

- **Configuración de Permisos de Usuario:**

1. En "Ajustes" acceda a los grupos de usuarios creados el principio del proyecto y al grupo de "ingeniería Estructuras" concédale todos los permisos referentes a la carpeta generada para el control del avance, esto con el propósito de que el ingeniero pueda realizar el control del avance por su parte y no depender de la disponibilidad de CV para avanzar con el control del avance.

Permisos de carpeta

×

04-Ingeniería\_Estructuras

?

|                               | Publicado                           | Leer                                | Archivos                            |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                               | Leer                                | Leer                                | Escribir                            | Editar carpetas                     |
| Archivos                      | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 01-Planos_cliente             | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 04-Modelos_Dalux              | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 05-Adquisiciones_Estratégi... | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 06-Planos_PDF_taller          | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 07-Planos_PDF_proveedo...     | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 08-Compras                    | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 09-Laboratorios               | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 10-Control de avance          | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Recuento:                     | 183/189                             | 183/189                             | 1/189                               | 1/189                               |

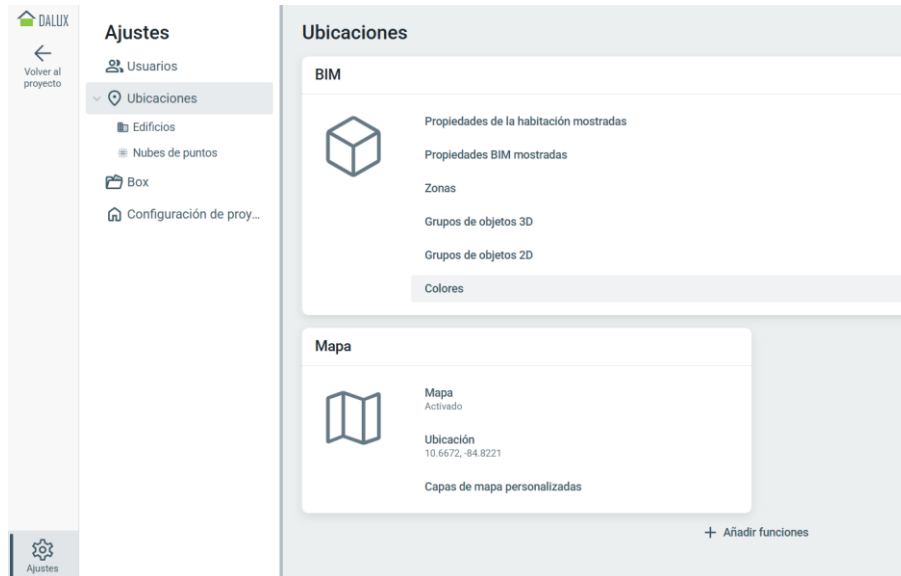
Cancelar

Guardar

## 4.0 Configuración de la Visualización (Colorize)

- **Creación de Reglas de Color:**

1. Navegue a Configuraciones > Ubicaciones y Colores.

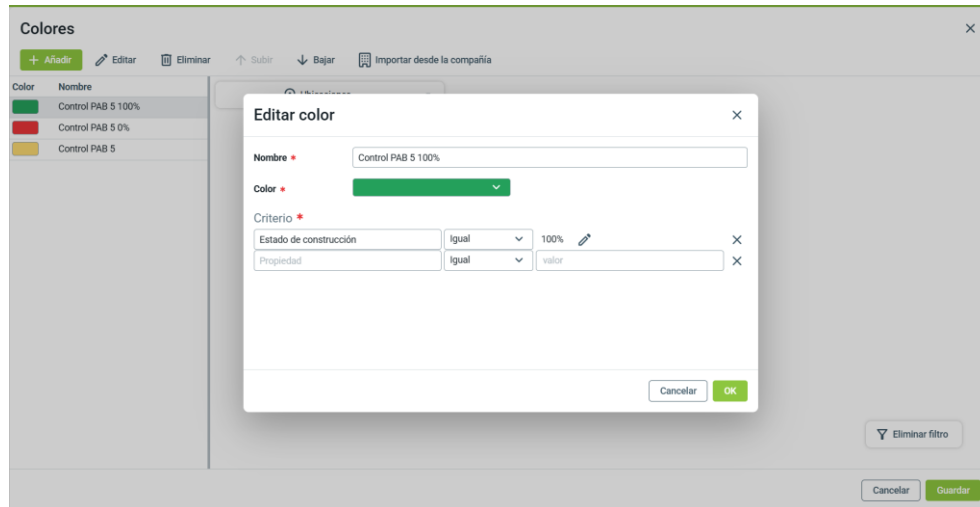


2. Cree un nuevo conjunto de reglas de visualización con el nombre **"Control de Avance por Estado"**.

3. Configure las siguientes reglas basadas en el valor de la propiedad Estado de construcción:

- **Regla 1:** Si Estado de construcción es igual a "Construido", aplicar Color: **Verde**.
- **Regla 2:** Si Estado de construcción es igual a "En proceso", aplicar Color: **Rojo**.

4. Guarde el conjunto de reglas y asegúrese de que esté visible para los usuarios del proyecto.



Nota. La configuración de colores va muy acorde a el desarrollo de las propiedades por lo cual se recomienda configurarlo acorde a la distribución de las propiedades.

## 5.0 Control de Cambios y Mantenimiento

- Cualquier modificación a este procedimiento o al esquema de propiedades estándar debe ser solicitada al Director de Construcción Virtual, documentada y comunicada a todos los usuarios afectados. El archivo de datos BIM debe ser versionado si se realizan cambios estructurales en sus propiedades durante el transcurso de un proyecto.



# **Guía práctica para el Ingeniero Residente**

**Control de Avance BIM con Dalux**



**Estructuras S.A.**



## Guía práctica para el Ingeniero Residente: Control de Avance BIM con Dalux

### 1.0 Introducción y objetivos de la guía

Esta guía proporciona al Ingeniero Residente de Estructuras S.A. el procedimiento detallado para utilizar la plataforma Dalux como un complemento al sistema de control del avance de obra. El objetivo de este nuevo sistema no es reemplazar las tablas de pago, sino enriquecer el proceso con un registro digital, visual y centralizado que sirva como una referencia objetiva.

La implementación de este flujo de trabajo le permitirá:

- **Complementar el proceso actual** con una herramienta visual que facilite la comunicación y reduzca la subjetividad.
- **Agilizar las reuniones de validación de pagos**, utilizando el modelo 3D coloreado como una evidencia objetiva y compartida del trabajo ejecutado.
- **Crear un registro único y fiable** del progreso de la construcción, mejorando la trazabilidad y la comunicación con la oficina técnica y la dirección del proyecto.
- **Identificar visualmente y de forma inmediata** el estado general del proyecto, facilitando la toma de decisiones proactiva.

### 2.0 Flujo de trabajo general

El proceso se divide en dos etapas claras: la **asignación de datos**, que se realiza desde un ordenador (PC o laptop), y la **visualización** que se realiza desde un dispositivo móvil (iPad o teléfono) o desde un ordenador.

#### Flujo de actualización control de avance con Dalux



### 3.0 Procedimiento detallado

#### Asignación de propiedades de avance (Desde PC/Laptop)

Este procedimiento se realiza desde la interfaz web o desde Dalux Desktop (Aplicación de escritorio) y es el núcleo para la introducción de datos de avance.

1. **Acceder al archivo de datos BIM:** Inicie sesión en Dalux desde su navegador web o aplicación de escritorio. Navegue hasta la carpeta del proyecto y localice la carpeta específica creada por CV para este fin (ej. Control de avance). Abra el Archivo de Datos BIM correspondiente (ej. Control de Avance Pabellón 5 Estructural).

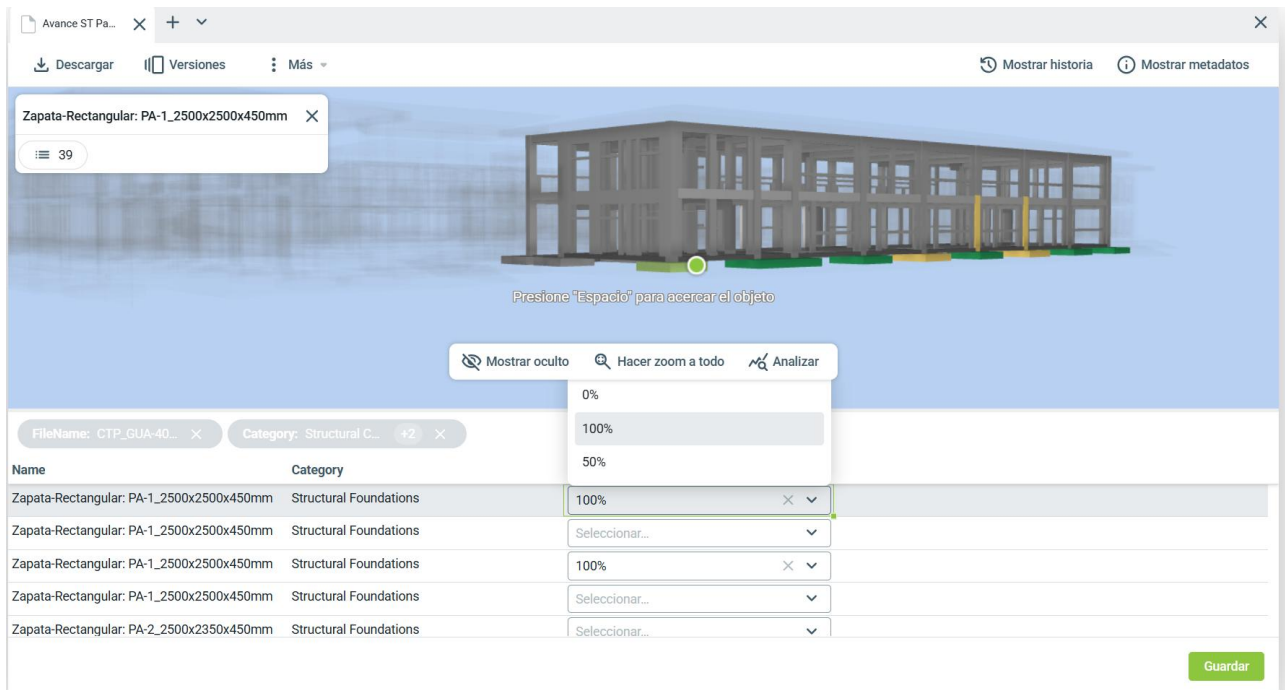
The screenshot displays the Dalux web interface. On the left, a sidebar contains a navigation menu with items like 'Inicio', 'Comentarios', 'Archivos', and 'Autorizaciones para a29'. The 'Archivos' section is expanded, showing a list of folders. The folder '10-Control de avance' is highlighted. The main content area shows the 'Archivos > 10-Control de avance' view. It includes a search bar, a '+ Añadir filtro' button, and a table with the following data:

| Nombre de archivo                             | Versión | Descripción actual |
|-----------------------------------------------|---------|--------------------|
| Control de Avance Pabellón 5 Estructural.bdfx | 1       |                    |

Nota. La decisión de la estructura de documentos es tomada por CV, pero el ingeniero residente debe tener claro esta misma.

2. **Seleccionar y asignar estado:** El departamento de Construcción Virtual le brindará el archivo con los elementos de un edificación o disciplina ya filtrados por lo que el visor 3D mostrará únicamente los elementos de interés.

- Haga clic en un elemento en el visor 3D.
- El elemento seleccionado se resaltará en un tenue color gris en una lista en el panel inferior de la pantalla.
- En este panel, localice la columna de la propiedad personalizada, por ejemplo, Estado de construcción.
- Haga clic en la celda correspondiente y seleccione el estado adecuado de la lista desplegable (ej. “Construido”, “En proceso”)
- Repita este proceso para todos los elementos que desee actualizar.

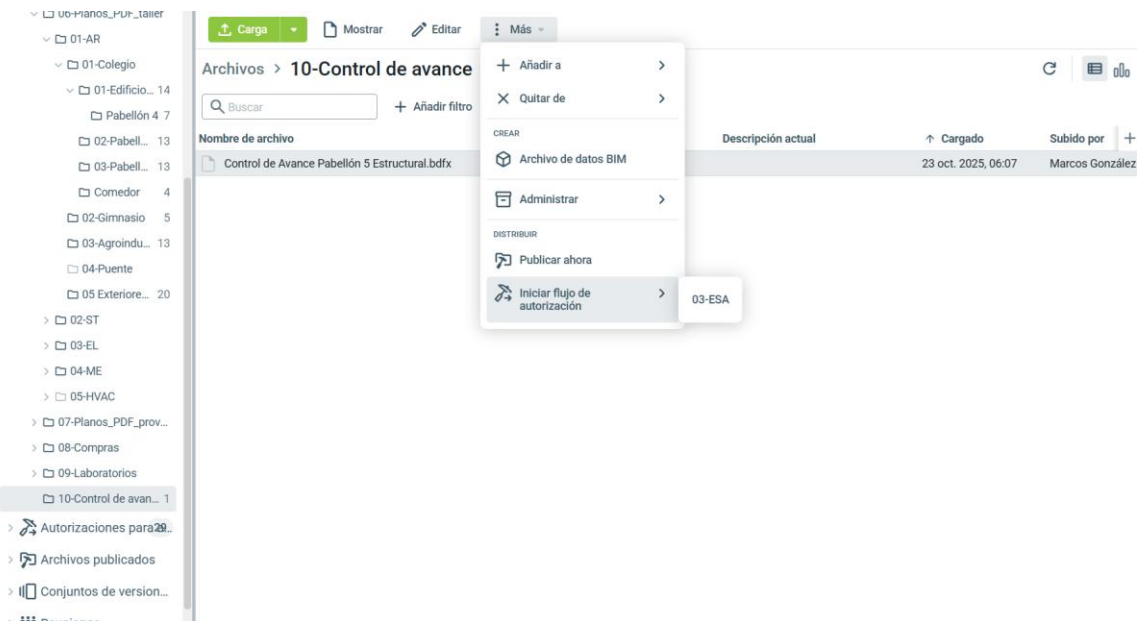


Nota. Los elementos se deben seleccionar de forma manual, no existe la opción de múltiple selección.

3. **Guardar y publicar:** Una vez que haya terminado de asignar los estados, es fundamental realizar dos acciones finales:

- Haga clic en el botón Guardar para almacenar los cambios en el archivo.
- Seleccione el archivo y en la pestaña de “Más” pulse el botón de “Publicar ahora” para que los cambios se hagan visibles para el resto del equipo del proyecto en la sección "Ubicaciones" de Dalux. Sin este paso, los colores no se actualizarán en el visor principal de Dalux.

Nota. Si el archivo debe ser revisado antes de su publicación, debe seleccionar “Iniciar flujo de autorización” y seleccionar el flujo por el cual el archivo debe de pasar.



#### 4.0 Verificación visual del progreso en campo.

Una vez que los datos han sido publicados se debe esperar un periodo aproximado de 5-10 minutos para que Dalux pueda actualizar la información, puede visualizar el estado del proyecto de forma coloreada desde su iPad o teléfono u ordenador.

1. Abra la aplicación **Dalux** en su dispositivo móvil u ordenador.
2. Seleccione el proyecto y navegue hasta el visor de modelos 3D en la sección "**Ubicaciones**".
3. El modelo se mostrará coloreado según el estado de cada elemento (ej. Verde para 100%, Amarillo para 50%), proporcionando un mapa visual del progreso del proyecto para ser utilizado como respaldo en reuniones de cualquier índole.



## **5.0 Uso del sistema para validación de avance de obra**

Este sistema transforma las reuniones como las de validación de pagos con subcontratistas en reuniones dinámicas.

1. Previo a la reunión, asegúrese de que el estado de todos los elementos relevantes esté actualizado y publicado en Dalux desde su ordenador.
2. Durante la reunión, proyecte o muestre en su iPad el visor del modelo 3D.
3. Navegue junto con el subcontratista por las áreas de trabajo correspondientes al período de pago. El modelo coloreado servirá como base objetiva e irrefutable para acordar las cantidades y el alcance del trabajo ejecutado, eliminando debates basados en porcentajes abstractos.

## **6.0 Gestión de discrepancias (Retroalimentación a oficina técnica)**

El modelo BIM es una representación del diseño, pero en obra pueden surgir discrepancias. Este sistema le permite actuar como un agente de control de calidad en tiempo real para el modelo digital. Si durante la construcción detecta que un elemento se construyó de forma diferente a como está modelado, o si falta un elemento en el modelo, debe reportarlo.

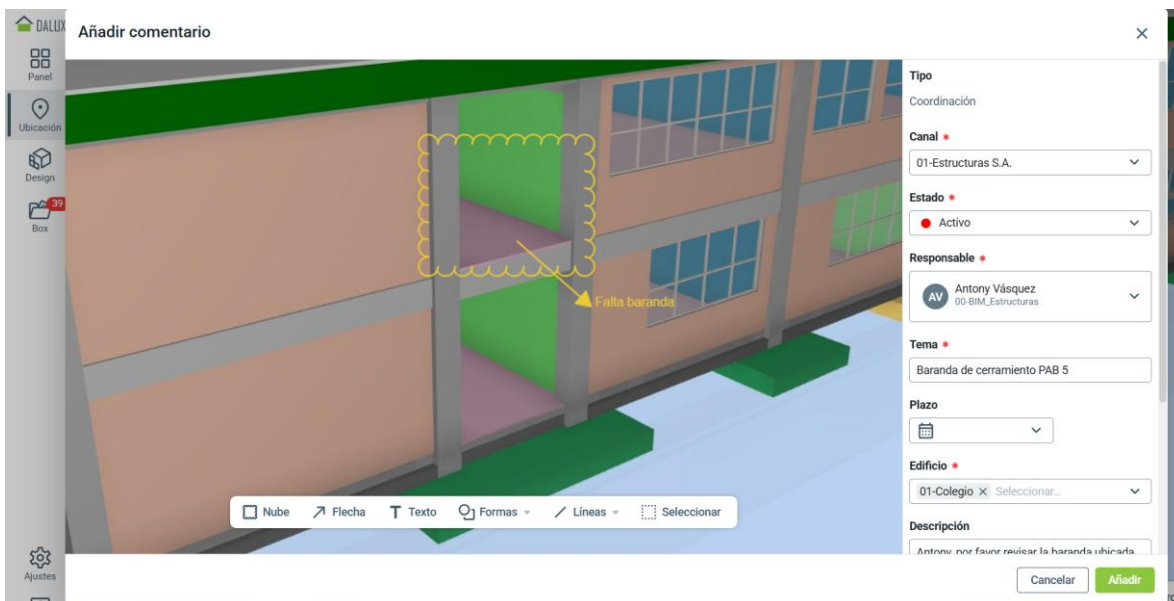
Este proceso de retroalimentación es vital, ya que no solo resuelve un problema puntual, sino que contribuye a mejorar la calidad y fiabilidad del modelo de información del proyecto, un pilar fundamental de la metodología BIM.

### **Procedimiento de reporte:**

1. En la app Dalux, cree un nuevo comentario sobre el elemento o sobre el visor 3D.



2. Asigne la tarea al responsable del departamento de Construcción Virtual.
3. En el título de la tarea, sea descriptivo (ej. "Discrepancia: Muro faltante en Eje C, Nivel 2").
4. Agregue elementos de marcaje a la evidencia visual de la discrepancia en campo.
5. En la descripción, explique brevemente el problema.
6. Guarde y envíe la tarea. El departamento de CV recibirá una notificación para investigar y corregir el modelo.



## 7.0 Comunicación de necesidades del Ingeniero con Construcción Virtual

### Guía de usuario para el Ingeniero Residente: Control de Avance con Dalux

#### BIM Data Files

El éxito del control de avance mediante Dalux depende de que el **Ingeniero Residente y el departamento de Construcción Virtual (CV)** trabajen de forma coordinada. El objetivo de esta interacción no es agregar tareas adicionales ni complejidad al flujo de trabajo, sino garantizar que el sistema se adapte a las necesidades reales de obra y facilite el seguimiento del proyecto.

El Ingeniero Residente es quien mejor conoce el desarrollo en campo y, por tanto, debe **comunicar sus necesidades y criterios de control de avance** al equipo de CV. Esto incluye identificar los elementos que considera importante registrar, el nivel de detalle con que se desea visualizar el progreso y los períodos en los que será necesario actualizar la información.

Con base en esta retroalimentación, el equipo de CV analizará junto con el ingeniero:

- **Qué archivos de datos BIM serán necesarios** para reflejar el avance (por disciplina, por edificio, por nivel, etc.).
- **Cómo se dividirá o estructurará la información** para mantener una gestión práctica y clara.
- **Qué propiedades personalizadas se deben incluir** (por ejemplo: estado, responsable, fecha, observaciones).

Este diálogo inicial permite establecer una estructura coherente antes de iniciar el registro de avances, evitando confusiones posteriores o sobrecargas innecesarias de información.

El propósito principal es que **ambas partes trabajen en sintonía**, donde el Ingeniero define qué información es relevante desde el punto de vista operativo, y CV propone la mejor manera de representarla y administrarla en el entorno BIM.

De esta manera, el flujo de trabajo no se convierte en una tarea adicional, sino en una herramienta eficiente que se adapta a la realidad de campo y potencia la comunicación entre obra y oficina técnica.