

ANÁLISIS DE LA INTEROPERABILIDAD BIM ENTRE UN SOFTWARE DE CÁLCULO Y UNO DE MODELADO ESTRUCTURAL EN LAS FASES DE ANÁLISIS, DISEÑO Y DETALLAMIENTO PARA LA FABRICACIÓN DE GALPONES DE ACERO.

L. Contreras Alfaro¹, L Antonio Roa Rojas², C. Correa Rogel³

RESUMEN:

La metodología BIM (Building Information Modeling) promueve el intercambio de la información entre plataformas utilizadas en las distintas etapas de un proyecto. En este contexto, la interoperabilidad es fundamental para garantizar la continuidad y el aprovechamiento de los datos generados durante el análisis, diseño y detallamiento. Con el propósito de abordar esta problemática, se utilizó como caso de estudio el modelo de cálculo estructural de un galpón de acero para analizar su comportamiento a medida que era transformado e intercambiado entre distintos softwares especializados. Para ello, se examinó la transferencia de atributos evaluando qué se conservó y que se perdió. Asimismo, se desarrolló una estrategia estableciendo criterios para priorizar y gestionar la información que requiera ser reconstruida o modificada. Sumado a esto, se implementó un entorno común de datos (CDE) para unificar los modelos del proyecto de distintas áreas, facilitar su actualización y dar trazabilidad al seguimiento de versiones. Finalmente, los resultados evidenciaron que el flujo de trabajo analizado facilita la transición hacia el detallamiento para la fabricación. Sin embargo, presenta limitaciones en la conservación de determinados datos que, según las características y complejidad del proyecto, pueden afectar etapas posteriores.

PALABRAS CLAVES: Building Information Modeling, galpón de acero, interoperabilidad.

ABSTRACT:

The Building Information Modeling (BIM) methodology promotes the exchange of information across platforms used throughout the various stages of a project. In this context, interoperability is essential to ensure the continuity and effective utilization of data generated during analysis, design, and detailing phases. To address this issue, the structural analysis model of a steel warehouse was adopted as a case study to analyze its behavior as it was transformed and exchanged among different specialized software applications. To this end, attribute transfer was examined by evaluating which data are preserved and lost. Additionally, a strategy was developed by establishing criteria for prioritizing and managing information requiring reconstruction or modification. Furthermore, a Common Data Environment (CDE) was implemented to integrate project models from different disciplines, facilitate their updating, and provide traceability for version tracking. Finally, the results demonstrated that the analyzed workflow supports the transition toward fabrication detailing. However, it exhibits limitations in the preservation of certain data which, depending on the characteristics and complexity of the project, may impact subsequent stages.

KEYWORDS: Building Information Modeling, Steel Warehouse, Interoperability.

¹Estudiante de pregrado, Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile, lcontrerasa@ing.ucsc.cl.

²Profesor guía, M. Sc, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. lroa@ucsc.cl.

³Profesor informante, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. claudiocorrea@ucsc.cl

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) enfrenta constantemente el desafío de mejorar la productividad, optimizar los procesos de trabajo y gestionar de manera eficiente la información generada durante el desarrollo de los proyectos (McKinsey Global Institute, 2017). A medida que las obras han incrementado su complejidad técnica y organizacional, ha surgido la necesidad de implementar metodologías y herramientas digitales que permitan fortalecer la coordinación entre disciplinas y facilitar la toma de decisiones a lo largo del ciclo de vida de un activo (Planbim Corfo, 2021).

Dentro de este contexto, la metodología BIM (Building Information Modeling) se ha consolidado como uno de los principales enfoques para la gestión en proyectos de construcción (Eastman et al., 2018). Su aplicación promueve el trabajo colaborativo mediante modelos digitales que integran información gráfica y no gráfica, lo que mejora la toma de decisiones, reduce significativamente los errores en el desarrollo del proyecto y sus costos asociados. De esta forma, se proporciona un marco de trabajo que facilita el intercambio y aprovechamiento de la información (Olivares, 2025).

Sin embargo, su implementación requiere la utilización de diversas plataformas especializadas para desarrollar actividades asociadas a las distintas etapas de un proyecto, lo que obliga a que la información deba ser transferida entre distintos softwares, dando origen a procesos de interoperabilidad que permiten la comunicación entre herramientas con funcionalidades y estructura de datos diferentes (buildingSMART International, 2024).

A pesar de los avances alcanzados en esta materia, la interoperabilidad continúa representando un desafío para la industria. Durante el intercambio de modelos digitales pueden producirse pérdidas, modificaciones o transformaciones de información que afectan la continuidad de los datos y condicionan su utilización. Esta situación adquiere especial relevancia en proyectos estructurales, donde la información generada en etapas tempranas debe mantenerse disponible y ser suficientemente confiable para apoyar procesos posteriores (Yu et al., 2023).

Por otra parte, el desarrollo colaborativo de proyectos requiere mecanismos que permitan gestionar los modelos digitales generados por las distintas disciplinas, controlar sus actualizaciones y mantener un registro de los cambios realizados durante su desarrollo (ISO 19650-1, 2018). Ante este escenario, el uso de un entorno común de datos (CDE) se vuelve fundamental para centralizar los modelos, facilitar la colaboración entre especialidades y proporcionar trazabilidad (ISO 19650-2, 2018).

En el caso específico de las estructuras de acero, como los galpones, la transferencia de datos es un punto crítico, dado que el modelo de cálculo estructural debe conservarse de manera íntegra durante su traspaso al software de modelado estructural. Sin embargo, en la práctica este intercambio suele generar pérdidas importantes de la información tanto gráficas como no gráficas. Al final, los modeladores terminan reingresando datos manualmente, lo que retrasa las entregas y puede causar errores en la fabricación. Por eso, analizar a fondo este flujo es clave para identificar exactamente dónde se rompe la continuidad.

Con este propósito, la presente investigación tiene como objetivo analizar la interoperabilidad unidireccional entre un software de cálculo y uno de modelado estructural en las fases de análisis, diseño y detallamiento para la fabricación de galpones de acero. Esto permitirá comprender como actúa la información al ser interoperada, identificando qué datos se conservan y cuáles se pierden.

A partir de estos hallazgos, se buscará proponer una estrategia que establezca criterios con el fin de priorizar y gestionar los parámetros relevantes para la fase de detallamiento. En paralelo, se dispondrá de un entorno común de datos (CDE) como soporte para centralizar el modelo, asegurando el desarrollo colaborativo con otras especialidades.

Para la realización de este estudio se cuenta con el apoyo de Ingeniería Solving Ltda., empresa que facilitó el modelo de cálculo estructural utilizado como base para el análisis de interoperabilidad.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la interoperabilidad unidireccional entre un software de cálculo y uno de modelado estructural en las fases de análisis, diseño y detallamiento para la fabricación de galpones de acero.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A. Identificar la información incorporada al modelo de análisis y diseño estructural relevante para el detallamiento, evaluando su conservación durante el intercambio IFC.
- B. Proponer una estrategia de intercambio de información basada en los Tipos de Información (TDI), mediante la identificación de patrones de conservación y pérdida en el flujo de interoperabilidad entre las fases de análisis, diseño y detallamiento para la fabricación de galpones en acero.
- C. Implementar un ambiente común de datos (CDE) para realizar la transferencia de información digital gráfica y no gráfica que se entrega en la fase de detallamiento.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. ¿QUÉ ES LA METODOLOGÍA BIM?

BIM (Building Information Modeling) es una metodología de trabajo que utiliza la información generada por los diferentes profesionales (AEC) a través de herramientas digitales, la cual facilita la colaboración, coordinación, análisis, simulación, gestión, entre otros aspectos relacionados con las dimensiones de información BIM (Ver figura N°1), a través de un modelo virtual inteligente que permite optimizar los recursos y asegurar una mayor calidad del proyecto (BIM Forum Chile, 2021).

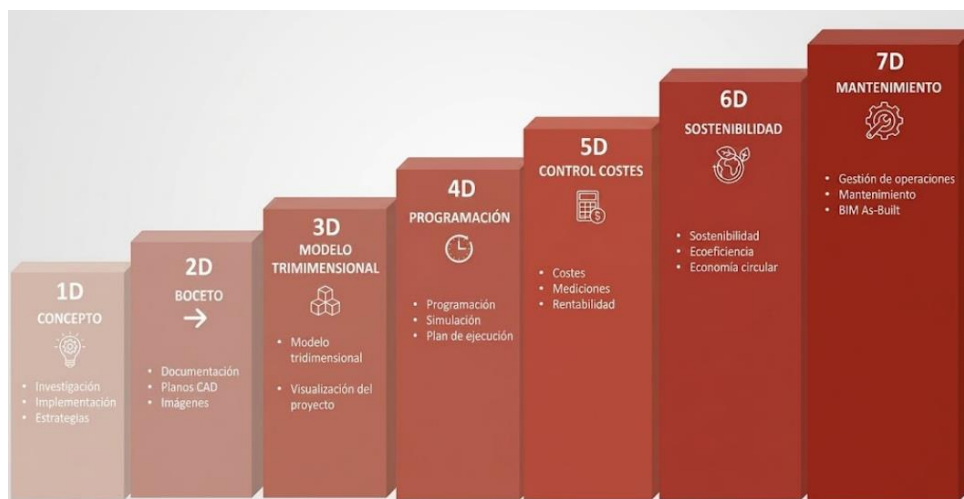


Figura N°1: Las 7 dimensiones de información BIM.

Fuente: AIS Building Outnovation, 2023.

La implementación de la metodología BIM requiere herramientas capaces de generar, gestionar e intercambiar información durante el desarrollo de un proyecto. En este contexto, la participación de un software dentro de un flujo BIM no depende únicamente de la creación de modelos tridimensionales, sino también de su capacidad para trabajar con información asociada a los elementos, facilitar la interoperabilidad y apoyar procesos colaborativos entre disciplinas (Eastman et al., 2018). La *Figura N°2* presenta las características que permite identificar cuándo un software participa en un entorno BIM.

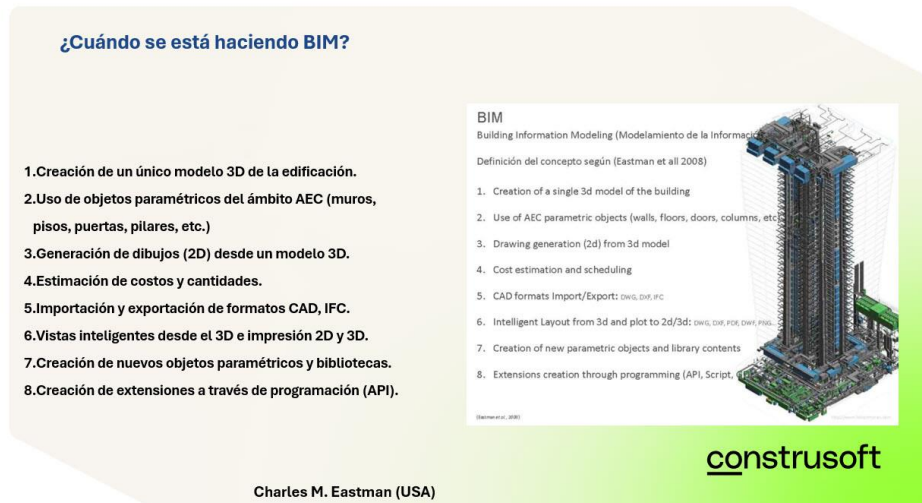


Figura N°2: Capacidades asociadas a los softwares que participan en entornos BIM.

Fuente: Adaptado de Construsoft, basado en Eastman et al., (2018).

3.1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)

La metodología BIM se desarrolló sobre la base de los avances del diseño asistido por computadora (CAD) originados en la década de 1960. Lo que inicialmente comenzó como una automatización del dibujo técnico bidimensional fue evolucionando progresivamente hacia el diseño paramétrico y, posteriormente, hacia la gestión integral de información en modelos tridimensionales inteligentes, transformando el flujo de trabajo aislado en un entorno colaborativo entre los diferentes profesionales del sector AEC (Trejo, 2018).

La *Figura N°3* presenta hitos relevantes en la evolución de la metodología BIM, con el fin de contextualizar su desarrollo histórico y su adopción en Chile.

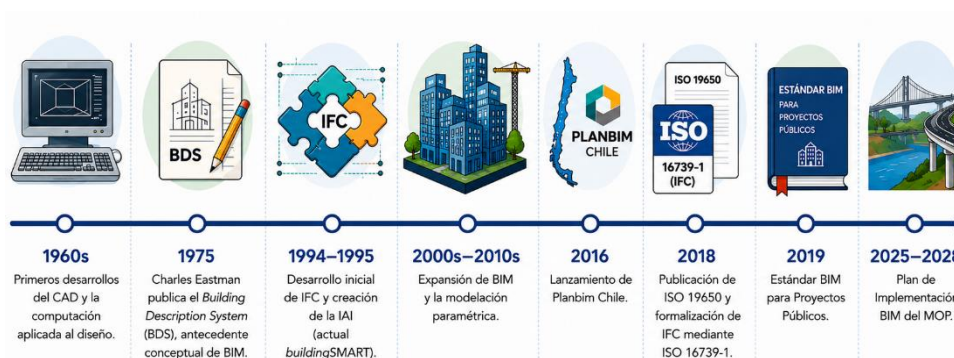


Figura N°3: Infografía cronológica sobre la evolución de la metodología BIM.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

La evolución de la metodología BIM ha estado acompañada por la creación de organismos, foros e iniciativas que han impulsado su adopción a nivel internacional. A medida que fue consolidándose como una herramienta para la gestión integrada de información en proyectos de construcción, diversos países desarrollaron estrategias, estándares y programas destinados a promover su implementación tanto en el sector público como en el privado (Eastman et al., 2018).

En América, su difusión ha sido respaldada por instituciones especializadas, asociaciones, profesionales y organismos gubernamentales que han contribuido al desarrollo de lineamientos, estándares y planes de implementación. Estas iniciativas han favorecido la transformación digital de la industria de la construcción

y han impulsado la adopción de prácticas orientadas a la interoperabilidad y la gestión eficiente de la información (Succar, 2009). La *Figura N°4* presenta algunas de las principales instituciones e iniciativas que promueven el uso de la metodología BIM en América, evidenciando el interés regional por fortalecer la colaboración entre actores, la estandarización de procesos y el intercambio de información durante el ciclo de vida de los proyectos.

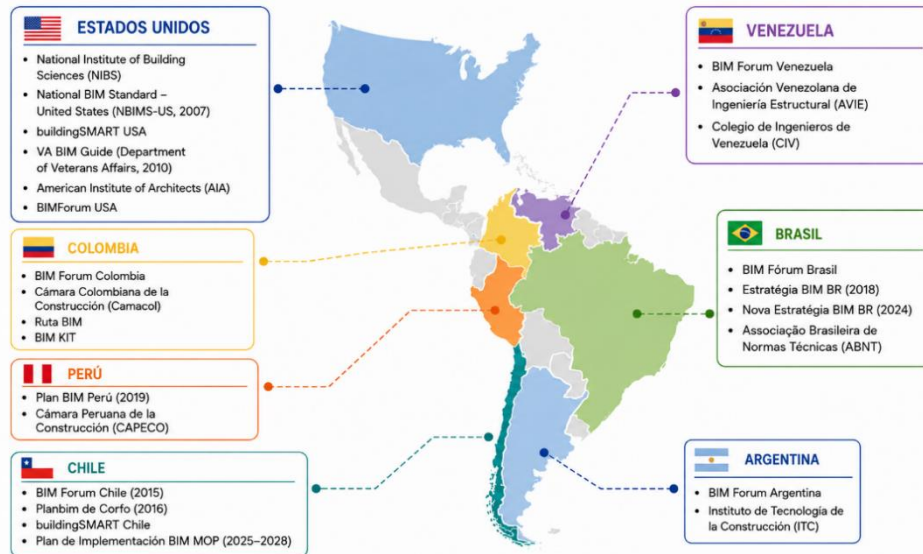


Figura N°4: Principales instituciones que promueven el uso de la metodología BIM en América.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.1.2. BIM EN CHILE

En el año 2025, según la última encuesta nacional BIM, se observó que los usuarios regulares en Chile (Ver *figura N°5*) alcanzaron cerca del 46%, mientras que el grupo de usuarios ocasionales disminuyó respecto de años anteriores. Además, la reducción de no usuarios se ha desacelerado, lo que sugiere que aún existe un margen para avanzar en la incorporación hacia su uso más constante (Loyola, 2025).

Como se observa en la *Figura N°6*, el gráfico evidencia un aumento del uso regular de la metodología BIM en todas las disciplinas entre 2016 y 2025, destacando Arquitectura e Ingeniería Estructural con los porcentajes más altos de adopción. Por el contrario, construcción e Ingeniería MEP (mecánica, eléctrica y sanitaria) poseen un porcentaje de usuarios menor, lo que refleja una adopción más fuerte en las áreas de modelado estructural y diseño arquitectónico (Loyola, 2025).

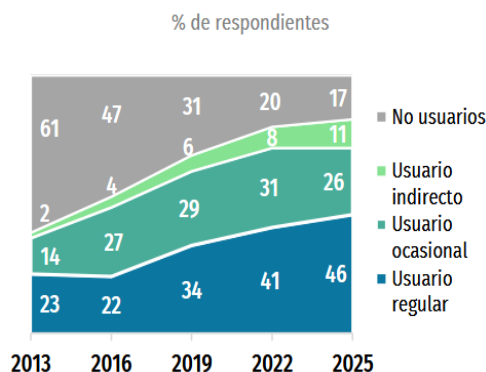


Figura N°5: Porcentaje de usuarios que utiliza BIM.

Fuente: Loyola, 2025.

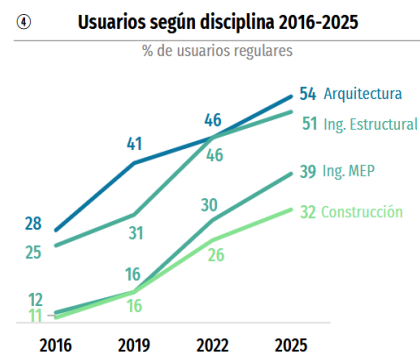


Figura N°6: Usuarios según disciplina.

Fuente: Loyola, 2025.

En relación con los procedimientos de trabajo (Ver figura N°7), se muestra avances en la compartición de modelos, el uso del formato IFC (Industry Foundation Classes), la definición de roles, la incorporación de un entorno común de datos (CDE) y el plan de ejecución BIM (PEB). No obstante, la baja adopción en capacitaciones y de KPI (Key Performance Indicator) evidencia que aún existen aspectos por consolidar en la implementación de la metodología. A su vez, el gráfico de usos (Ver figura N°8) expone que esta tecnología se concentra principalmente en tareas de diseño, documentación y coordinación mientras que disminuye en actividades como el análisis estructural, gestión de activos y sustentabilidad (Loyola, 2025).

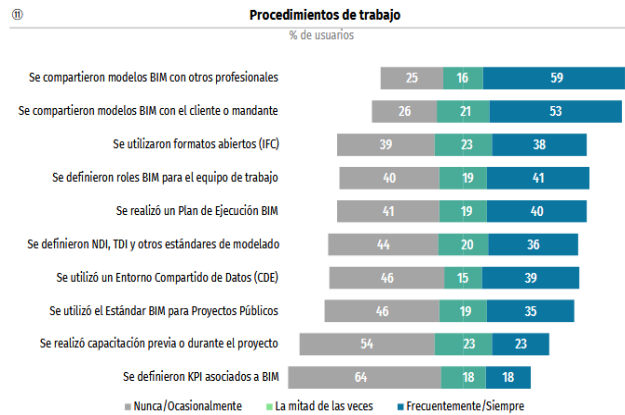


Figura N°7: Procedimiento de trabajos BIM, 2025.
Fuente: Loyola, 2025.

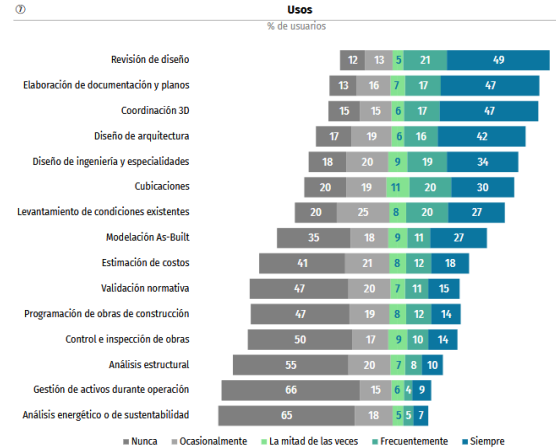


Figura N°8: Usos BIM, 2025.
Fuente: Loyola, 2025.

3.2. SOFTWARES DE MODELADO

3.2.1. RAM Elements®

RAM Elements® es un software de análisis y diseño estructural desarrollado por Bentley Systems. Este software permite realizar análisis tridimensionales mediante elementos finitos y desarrollar el diseño de diversos sistemas y elementos estructurales. Además, incorpora opciones de importación, exportación e integración con otras herramientas del ecosistema Bentley para el intercambio de información (Bentley Systems, 2026).

3.2.2. Tekla Structures®

Tekla Structures® es un software desarrollado por Trimble Inc, destinado al modelado y detallamiento para la fabricación y montaje de estructuras. Su funcionamiento se basa en la generación de modelos tridimensionales enriquecidos con una gran cantidad de datos técnicos y constructivos (Trimble Inc., 2025).

3.3. INTEROPERABILIDAD BIM

La interoperabilidad es la capacidad de los softwares involucrados para intercambiar información, de manera fluida y sin pérdidas (AFUL, 2015).

En el contexto chileno, este principio se incluyó en el Estándar BIM para Proyectos Públicos (2021), donde se planteó exigir formatos abiertos para resguardar la transparencia, evitar el requerimiento de marcas específicas de software, permitir el traspaso de datos entre plataformas y asegurar que la información técnica permanezca disponible para el futuro.

3.3.1. OPEN BIM Y CLOSED BIM

Dentro del contexto de la interoperabilidad BIM, los enfoques Open BIM y Closed BIM representan distintas estrategias para el intercambio de información entre herramientas digitales. Por un lado, el enfoque Closed BIM define a los entornos de trabajo basados en aplicaciones de un mismo ecosistema tecnológico, donde la transferencia se realiza mediante formatos propios del fabricante. Por otro lado, Open BIM promueve la colaboración entre diferentes plataformas mediante estándares abiertos que permiten compartir información sin depender de un software en específico (buildingSMART International, 2024).

3.3.2. INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)

Industry Foundation Classes (IFC) es un estándar desarrollado para facilitar el intercambio de información entre softwares utilizados en la industria de la construcción. Su objetivo es promover la interoperabilidad entre plataformas mediante un formato neutral que permite transferir información geométrica y no geométrica sin depender de un software específico (ISO 16739-1, 2024). La información se organiza mediante entidades que representan elementos, propiedades y relaciones dentro de un proyecto, permitiendo almacenar datos asociados a geometría, materiales, propiedades físicas y características de los elementos constructivos. Debido a estas características, el formato IFC se ha consolidado como uno de los principales estándares para el intercambio de información en entornos BIM (buildingSMART International, 2024). La *Figura N°9* presenta la evolución del estándar IFC, destacando las versiones mas representativas de su desarrollo.



Figura N°9: Evolución del estándar IFC.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.3.3. DATOS EN EL INTERCAMBIO IFC

La información contenida en un modelo BIM puede visualizarse mediante tablas, reportes o conjuntos de propiedades asociados a los elementos. Estos permiten identificar valores específicos utilizados en los procesos de intercambio y gestión de información. La *Figura N°10* muestra cómo se organizan los datos asociados al modelo en un entorno BIM.

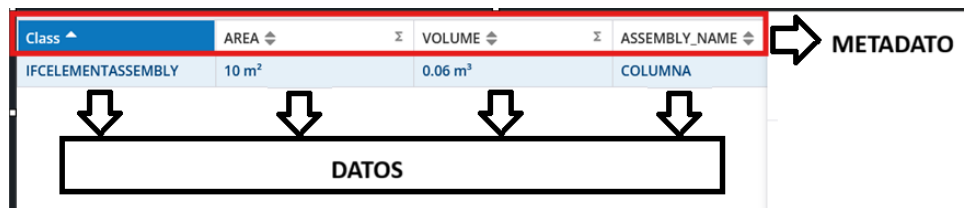


Figura N°10: Representación de la información en una entidad IFC.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.4. ESTÁNDAR BIM PARA PROYECTOS PÚBLICOS

En Chile, la adopción de la metodología BIM en el sector público fue impulsada por Planbim de Corfo, iniciativa creada por la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo) en 2016 con el propósito de promover la transformación digital de la industria de la construcción y mejorar la productividad mediante la incorporación de procesos y tecnologías BIM. Como parte de esta estrategia, se desarrolló el Estándar BIM para Proyectos Públicos, el cual tuvo su primera versión el año 2019, estableciendo lineamientos y requisitos para el intercambio de la información. Posteriormente, fue actualizado el año 2021, la cual incorporó ajustes y aclaraciones orientadas a mejorar su aplicación, manteniendo los principios y objetivos establecidos de la versión original (Planbim Corfo, 2021).

3.4.1. TIPOS DE INFORMACIÓN (TDI)

Los Tipos de Información (TDI) corresponden a grupos de datos que pueden estar contenidos en las entidades de un modelo digital. El Estándar BIM para Proyectos Públicos establece quince TDI, identificados desde la letra A hasta la O (*Ver figura N°11*), con el objetivo de estructurar y estandarizar la información requerida durante el ciclo de vida de un proyecto. Esta clasificación se basa en la Matriz de elementos/Objetos desarrollada por el U.S Department of Veterans Affairs y adaptada posteriormente para su aplicación en el contexto nacional (Planbim Corfo, 2021).

1	TDI_A	2	TDI_B	3	TDI_C	4	TDI_D	5	TDI_E
	Información general del proyecto		Propiedades físicas y geométricas		Propiedades geográficas y de localización espacial		Requerimientos específicos de información para el fabricante y/o constructor		Especificaciones técnicas
6	TDI_F	7	TDI_G	8	TDI_H	9	TDI_I	10	TDI_J
	Requerimientos y estimación de costos		Requerimientos energéticos		Estándar sostenible		Condiciones del sitio y medioambientales		Validación de cumplimiento de programa
11	TDI_K	12	TDI_L	13	TDI_M	14	TDI_N	15	TDI_O
	Cumplimiento normativo		Requerimientos de fases, secuencia de tiempo y calendarización		Logística y secuencia de construcción		Entrega para la operación		Gestión de activos

Figura N°11: Tipos de información (TDI).

Fuente: Elaboración propia en base a Estándar BIM para Proyectos Públicos, 2021.

3.4.2. NIVELES DE INFORMACIÓN (NDI)

Los Niveles de Información (NDI) corresponden a los grados de profundidad que puede alcanzar la información geométrica y no geométrica contenida en un modelo. Estos niveles permiten definir el desarrollo progresivo de la información durante las distintas etapas de un proyecto y se encuentran directamente relacionados con los TDI. El Estándar BIM para Proyectos Públicos (2021) establece seis (*Ver figura N°12*), cuya definición se basa en el concepto Level of Development (LOD) propuesto por The American Institute of Architects (AIA) y BIMForum USA, adaptado posteriormente para su aplicación en Chile (Planbim Corfo, 2021).

Concepto	Descripción
NDI-1 Información inicial general	Información inicial, que puede ser estimativa, acerca de área, altura, volumen, localización y orientación de los elementos generales.
NDI-2 Información básica aproximada	Información básica del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación de los sistemas y elementos generales y su ensamblaje.
NDI-3 Información detallada	Información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación que sea relevante para el montaje de los elementos.
NDI-4 Información detallada y coordinada	Información detallada y coordinada respecto del tamaño, forma, localización, cantidad, orientación e interacción entre los sistemas de construcción y sus elementos de montaje específico.
NDI-5 Información detallada de la fabricación y montaje	Información detallada de la fabricación y montaje, considerando el tamaño, localización, cantidad, orientación e interacción entre los elementos.
NDI-6 Información detallada de lo construido y su puesta en marcha	Información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad, orientación y de la puesta en marcha de los elementos construidos.

Figura N°12: Niveles de información (NDI).

Fuente: Adaptado por Planbim de Corfo (2021), basado en AIA G202-2013 y BIMForum USA.

3.5. ENTORNO COMÚN DE DATOS (CDE)

El Entorno Común de Datos (Common Data Environment, CDE) es un sistema centralizado para la gestión, almacenamiento y distribución de la información generada durante el ciclo de vida de un activo. Su principal objetivo es facilitar la colaboración entre los participantes mediante el acceso a modelos BIM, documentos técnicos, planos reportes e información relevante desde una única fuente (Revista CoPaLa, 2024).

Entre las plataformas utilizadas como CDE destacan *Trimble Connect*®, *Autodesk BIM 360*®, *Bentley ProjectWise*®.

3.5.1. Trimble Connect®

Trimble Connect® es una de las plataformas utilizadas como CDE para la gestión y coordinación de la información que permite visualizar, revisar y compartir modelos BIM provenientes de diferentes softwares. Al operar mediante conexión a internet, facilita el acceso de la información desde distintos dispositivos y la colaboración entre participantes (Trimble Inc., 2024).

3.6. GALPONES DE ACERO EN CHILE

Los galpones de acero constituyen una de las soluciones estructurales más utilizadas en el sector industrial, logístico y agrícola debido a su rapidez constructiva, versatilidad y capacidad para cubrir grandes luces.

En Chile, la evolución de estas estructuras ha estado impulsada por la necesidad de cumplir mayores exigencias funcionales, constructivas y normativas, particularmente en materia de resistencia estructural y desempeño sísmico. Como resultado, actualmente existe una amplia variedad de configuraciones y sistemas estructurales adaptados a distintos requerimientos de uso (Portal Minero, 2022).

4. METODOLOGÍA

4.1. INTEGRIDAD DE LA INFORMACIÓN EN EL FLUJO DE INTEROPERABILIDAD

Para evaluar la conservación de la información durante el flujo de interoperabilidad, se utilizó como caso de estudio el modelo de cálculo estructural de un galpón de acero, diseñado en *RAM Elements*[®] y facilitado por la empresa Ingeniería Solving Ltda. A partir de este modelo se seleccionó un conjunto de 52 datos considerados relevantes para la fase de análisis, diseño y detallamiento. Posteriormente, los datos fueron organizados en una tabla de seguimiento y clasificados según los TDI y NDI (*Ver tabla Anexo A*), utilizando como referencia la Matriz de Información de Entidades BIM versión 3.0 desarrollada por Planbim Corfo (2023).

En este contexto, debido a que *RAM Elements*[®] no dispone de una exportación nativa hacia el formato IFC, el intercambio se realizó mediante la generación de un repositorio ISM. Esta condición refleja un flujo de trabajo con características asociadas a un entorno Closed BIM, debido al uso de mecanismos específicos de intercambio. Posteriormente, este fue importado a *iTwin Analytical Synchronizer*[®], donde primero se verificaron los datos contenidos y luego se generó el archivo IFC para continuar el proceso bajo un enfoque Open BIM. Finalmente, se volvió a revisar el modelo en esta última etapa observando qué datos lograron conservarse y cuáles se perdieron. Todo esto se registró a través de una matriz de control para luego mediante un análisis porcentual, evaluar el grado de conservación y pérdida de cada TDI hasta la fase previa al detallamiento.

4.2. PROPUESTA DE ESTRATEGIA DE INTERCAMBIO DE LA INFORMACIÓN

A partir de los resultados obtenidos anteriormente, el archivo IFC fue importado en *Tekla Structures*[®] para iniciar la fase de detallamiento. Durante este proceso, se identificaron pérdidas puntuales de datos junto con la reconstrucción automática de otros. A partir de esto, y tomando como base el comportamiento general de la información estudiada previamente, se desarrolló una estrategia de intercambio con criterios técnicos para cada etapa del flujo de interoperabilidad, con el objetivo de preparar el modelo para su correcta interpretación, asegurando la disponibilidad de la información requerida y facilitando el detallamiento.

Además, como parte de esta misma estrategia, se establecieron lineamientos para la gestión de actualizaciones del modelo mediante la identificación de elementos insertados, modificados y eliminados, así como procedimientos de enumeración de conjuntos y partes garantizando la continuidad de la información para la sincronización automática de dibujos e informes.

4.3. IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTORNO COMÚN DE DATOS (CDE)

Una vez cargado el modelo de cálculo estructural en *Tekla Structures*[®], se creó un proyecto colaborativo en *Trimble Connect*[®], estableciendo la vinculación de ambas plataformas, permitiendo sincronizar y actualizar la información durante la fase de detallamiento.

Posteriormente, se incorporó un Modelo Digital de Terreno (MDT) como referencia externa para demostrar la integración de las diferentes especialidades en un mismo entorno.

Para concluir, se habilitó la opción de acceso mediante enlace compartido y código QR, con el propósito de facilitar la visualización y revisión de la información alojada en el CDE sin requerir de softwares especializados.

5. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

A fin de establecer las bases del análisis de interoperabilidad BIM, se requiere comprender las características del modelo digital, lo que implica comprender la composición de la estructura y definir el flujo que se implementará.

5.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura analizada corresponde a un galpón de acero de un solo nivel con dimensiones de 120 m de largo, 59.25 m de ancho y una altura máxima a la cumbre de 8 m (Ver figura N°13). Los elementos estructurales que componen el modelo se detallan en la Tabla N°1.

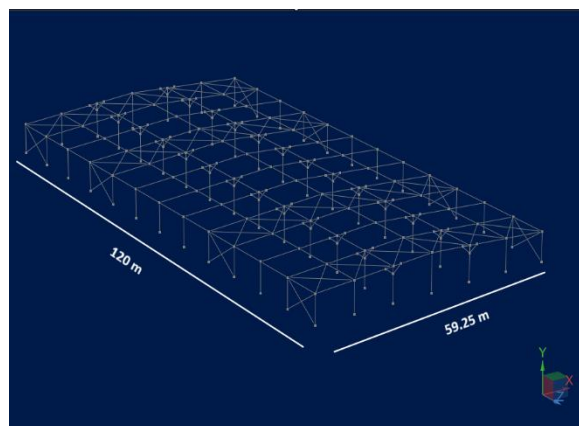


Figura N°13: Modelo de cálculo estructural RAM Elements®.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

Elementos		
Sección	Material	Cantidad
CJ150x100x4	A36	16
CJ150x150x4	A36	84
CJ150x150x5	A36	52
CJ300x200x4	A36	6
Cable/D=16mm	A36	48
W10x39	A572Gr50	52
W12x40	A572Gr50	26
W12x50	A572Gr50	130
Total		414

Tabla N°1: Listado de elementos estructurales.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

5.2. DEFINICIÓN DEL FLUJO DE INTEROPERABILIDAD

En la etapa inicial de un proyecto es fundamental verificar si la estructura es capaz de resistir las cargas a las que será sometida, por lo que se optó por iniciar el flujo de interoperabilidad desde RAM Elements® y no desde Tekla Structures®. Esta estrategia es consistente con una progresión gradual de los niveles de desarrollo de la información (NDI), ya que iniciar con niveles bajos permite definir con mayor claridad la configuración del sistema estructural, al trabajar con un modelo menos condicionado por detalles constructivos, lo que facilita el ajuste de elementos como vigas y columnas antes de avanzar hacia un mayor nivel de detalle. La Figura N°14 presenta el flujo de trabajo propuesto en esta investigación.

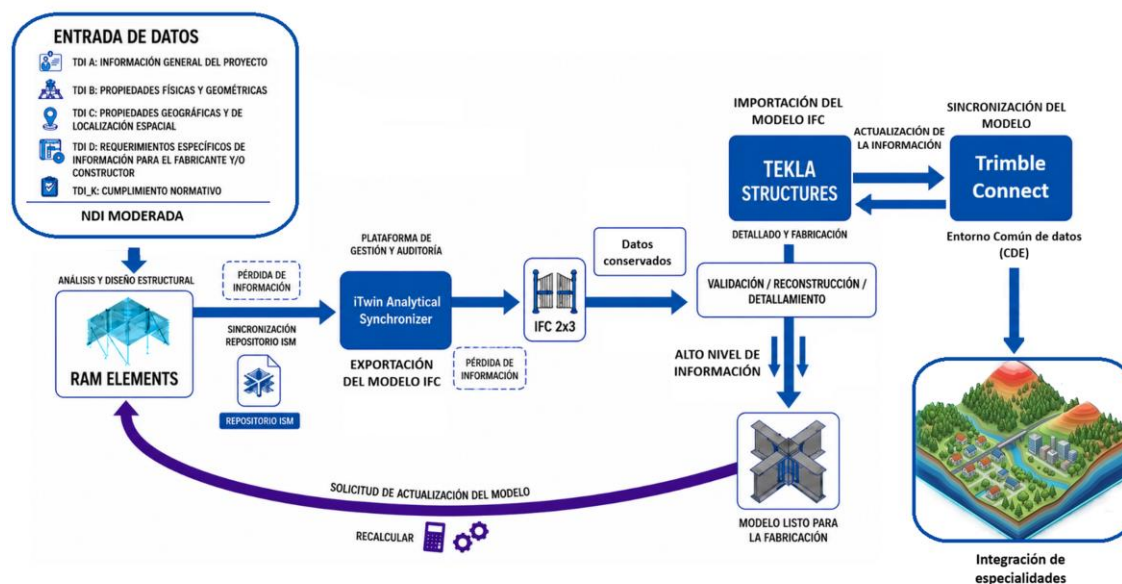


Figura N°14: Flujo de interoperabilidad.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

6. TRAZABILIDAD DE LA INFORMACIÓN EN EL INTERCAMBIO IFC

El análisis por categorías TDI permite evaluar la transferencia de información en cada etapa de conversión del modelo digital, evidenciando diferencias según las capacidades de las herramientas utilizadas en el flujo de trabajo propuesto.

6.1. RAM Elements® → REPOSITORIO ISM

La primera etapa del flujo de interoperabilidad corresponde al intercambio entre RAM Elements® y el Repositorio ISM. De los 52 datos considerados en el estudio, 38 fueron transferidos correctamente, alcanzando una conservación del 73% (Ver Tabla N°2).

Tipos de información (TDI)	Información evaluada en RAM Elements®	Información transferida al repositorio ISM	Porcentaje de conservación	Nivel de información (NDI)
TDI_A Información general del proyecto	14	7	50%	2
TDI_B Propiedades físicas y Geométricas	15	13	87%	3
TDI_C Propiedades geográficas y de localización espacial	9	7	78%	2
TDI_D Requerimientos específicos de información para el fabricante y/o constructor	5	4	80%	2
TDI_K Cumplimiento normativo	9	7	78%	4
Total	52	38	73%	-

Tabla N°2: Matriz de control, RAM Elements® - Repositorio ISM.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Al evaluar esta conservación por Tipos de información (TDI), la categoría TDI_B (Propiedades físicas y geométricas) presentó el mejor resultado con un 87% (13 de 15 datos transferidos), seguida por TDI_D (Requerimientos específicos de información para el fabricante y/o constructor) con un 80% (4 de 5 datos transferidos). Por su parte, las categorías TDI_C (Propiedades geográficas y de localización espacial) y TDI_K (Cumplimiento normativo) alcanzaron un 78% (7 de 9 datos transferidos), mientras que TDI_A (Información general del proyecto) registró el porcentaje más bajo con un 50% (7 de 14 datos transferidos). La comparación de estos valores y sus porcentajes de conservación por categoría se sintetiza en los Gráficos N°1 y N°2 respectivamente.

Estos resultados muestran que el intercambio de información hacia el Repositorio ISM permitió conservar una cantidad importante de datos en sus diferentes categorías con un enfoque mayor en las características físicas, estructurales y de fabricación de elementos. Asimismo, el grado de madurez se posiciona entre NDI 2 y NDI 4.

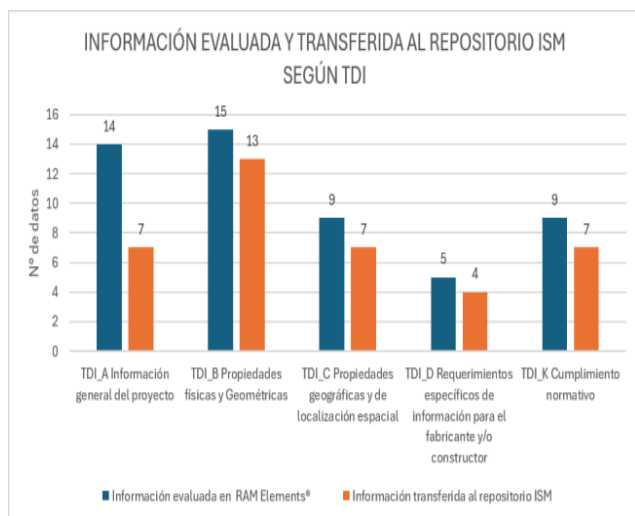


Gráfico N°1: Información evaluada vs transferida.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

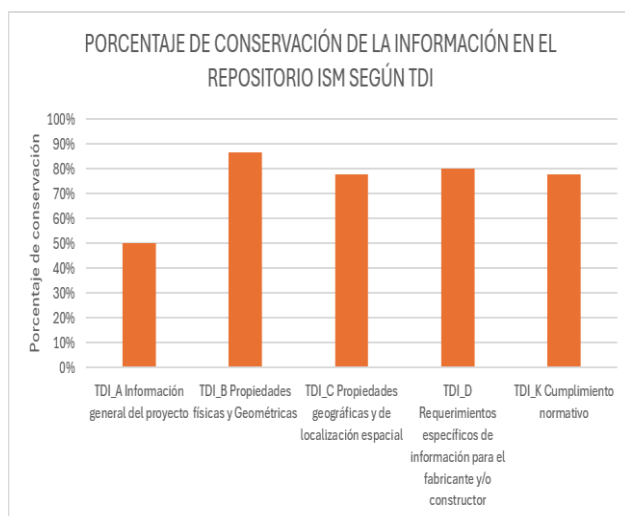


Gráfico N°2: Porcentaje de conservación según TDI.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

6.2. REPOSITORIO ISM → IFC

La segunda etapa del flujo de interoperabilidad, el archivo IFC 2x3 registró la transferencia de 20 de los 38 datos contenidos en el Repositorio ISM, lo que representa un 53% de conservación de la información (Ver *Tabla N°3*).

Tipos de información (TDI)	Información transferida al repositorio ISM	Información transferida al IFC 2x3	Porcentaje de conservación	Nivel de información (NDI)
TDI_A Información general del proyecto	7	7	100%	2
TDI_B Propiedades físicas y Geométricas	13	6	46%	3
TDI_C Propiedades geográficas y de localización espacial	7	3	43%	2
TDI_D Requerimientos específicos de información para el fabricante y/o constructor	4	4	100%	2
TDI_K Cumplimiento normativo	7	0	0%	-
Total	38	20	53%	-

Tabla N°3: Matriz de control, Repositorio ISM – IFC 2x3.

Fuente: Elaboración propia, 2026

Al examinar los resultados según los Tipos de Información (TDI), las categorías TDI_A (Información general del proyecto) y TDI_D (Requerimientos específicos de información para el fabricante y/o constructor) conservaron la totalidad de sus parámetros, alcanzando un 100% de conservación. En contraste, la categoría TDI_K (Cumplimiento normativo) no registró datos transferidos. Por su parte, TDI_B (Propiedades físicas y geométricas) presentó una conservación del 46% (6 de 13 datos transferidos), mientras que TDI_C (Propiedades geográficas y de localización espacial) alcanzó un 43% (3 de 7 datos transferidos). Asimismo, estos se distribuyen entre los niveles NDI 2 y NDI 3. La comparación de estos valores y sus porcentajes de conservación por categoría se sintetiza en los *Gráficos N°3 y N°4* respectivamente.

A partir de estos resultados, se observa que en este proceso se pierde mucha más información en comparación con la etapa anterior. Mientras que en la primera etapa del flujo se perdieron 14 datos, la distribución de la pérdida fue más homogénea entre las categorías, enfocándose principalmente en TDI_A (Información general del proyecto). Por el contrario, en esta segunda etapa se perdieron 18 datos, reflejando un impacto mucho más concentrado en categorías como TDI_B (Propiedades físicas y geométricas) y TDI_K (Cumplimiento normativo).

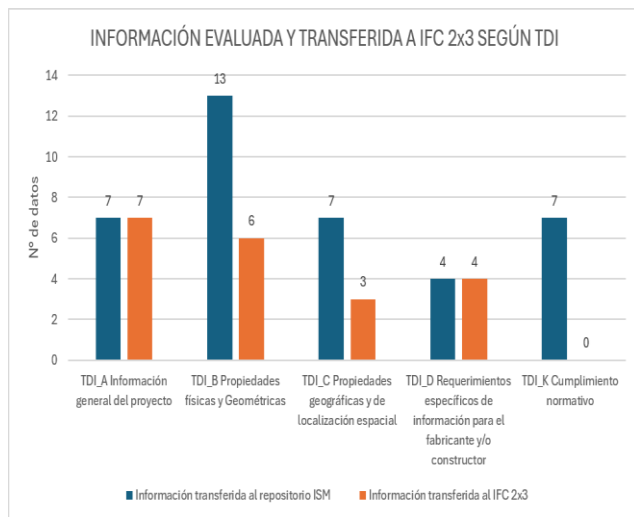


Gráfico N°3: Información evaluada vs transferida.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

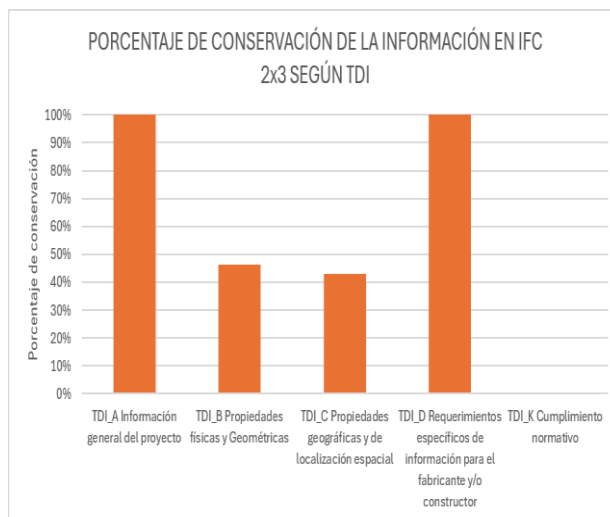


Gráfico N°4: Porcentaje de conservación según TDI.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

6.3. RAM Elements® → IFC

Los resultados presentados en la *Tabla N°4*, describen el estado final del modelo IFC 2x3 tras su exportación desde *RAM Elements®*. Este balance establece la línea base de la información que finalmente llegará a *Tekla Structures®* para iniciar la fase de detallamiento. A partir del análisis de trazabilidad del intercambio de información, se registra que desde los 52 datos seleccionados provenientes del modelo estructural de *RAM Elements®*, solo 20 lograron conservarse hasta la obtención del IFC 2x3. Este resultado evidencia que únicamente el 38% fue preservado a lo largo del flujo de interoperabilidad. Al desglosar este comportamiento por categorías, se observa que TDI_K presenta una pérdida total de la información, en contraste de la categoría TDI_D, que presenta la mayor permanencia de datos con un 80% de conservación respecto a su estado inicial. Por su parte, la categoría TDI_A registra un 50%, TDI_B un 40%, mientras que TDI_C un 33%. Asimismo, estos se distribuyen entre NDI 2 y NDI 3.

Tipos de información (TDI)	Información evaluada en RAM Elements®	Información transferida al IFC 2x3	Datos Perdidos	Porcentaje de datos transferidos	Nivel de información (NDI)
TDI_A Información general del proyecto	14	7	7	50%	2
TDI_B Propiedades físicas y Geométricas	15	6	9	40%	3
TDI_C Propiedades geográficas y de localización espacial	9	3	6	33%	2
TDI_D Requerimientos específicos de información para el fabricante y/o constructor	5	4	1	80%	2
TDI_K Cumplimiento normativo	9	0	9	0%	-
Total	52	20	32	38%	-
	100%			Porcentaje de datos conservados	38%
				Porcentaje de datos perdidos	62%

Tabla N°4: Matriz de control: inicio y fin de la interoperabilidad.

Fuente: Elaboración propia, 2026

Como se aprecia en el *Gráfico N°5*, estos resultados evidencian una tendencia del flujo de interoperabilidad a priorizar la transferencia de información vinculada a la fabricación (TDI_D), en desmedro de los datos asociados al análisis y diseño estructural, particularmente aquellos relacionados con el cumplimiento normativo y las propiedades de localización (TDI_C).

Ante este diagnóstico, la incorporación del archivo IFC en *Tekla Structures®* introduce un modelo digital que ya presenta un déficit significativo de información. En este contexto, la capacidad de reconstrucción o de interpretación de datos en la etapa de detallamiento se encuentra condicionada por la pérdida acumulada en las fases previas, lo que limita la trazabilidad completa del modelo y evidencia que el flujo no garantiza la preservación integral de la información a lo largo del proceso BIM (*Ver gráfico N°6*).

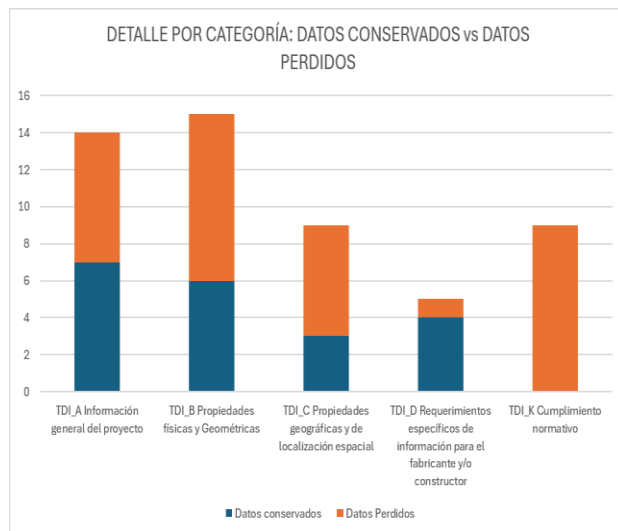


Gráfico N°5: Información conservada vs pérdida global.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

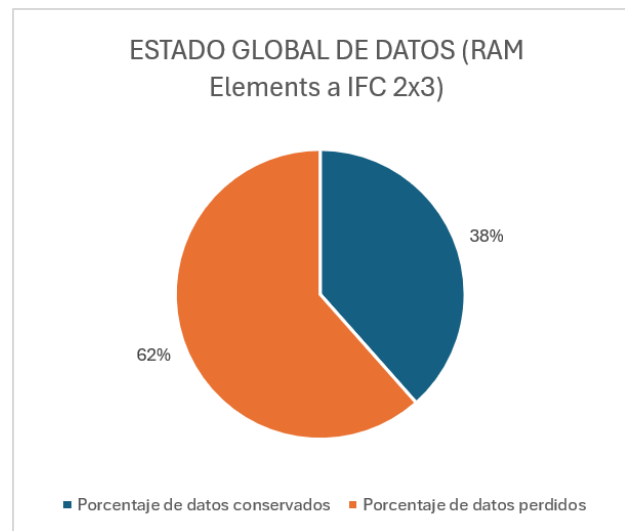


Gráfico N°6: Balance global de la información

Fuente: Elaboración propia, 2026.

7. ESTRATEGIA DE INTERCAMBIO DE LA INFORMACIÓN

A partir de los resultados obtenidos se identificaron patrones de conservación, pérdida y reconstrucción de los datos a lo largo del flujo entre las fases de análisis, diseño, y detallamiento para la fabricación.

La *Figura N°15* muestra el proceso de interoperabilidad analizado, el cual sirvió de base para la identificación de dichos patrones y la posterior formulación de la Estrategia de Intercambio de la Información.

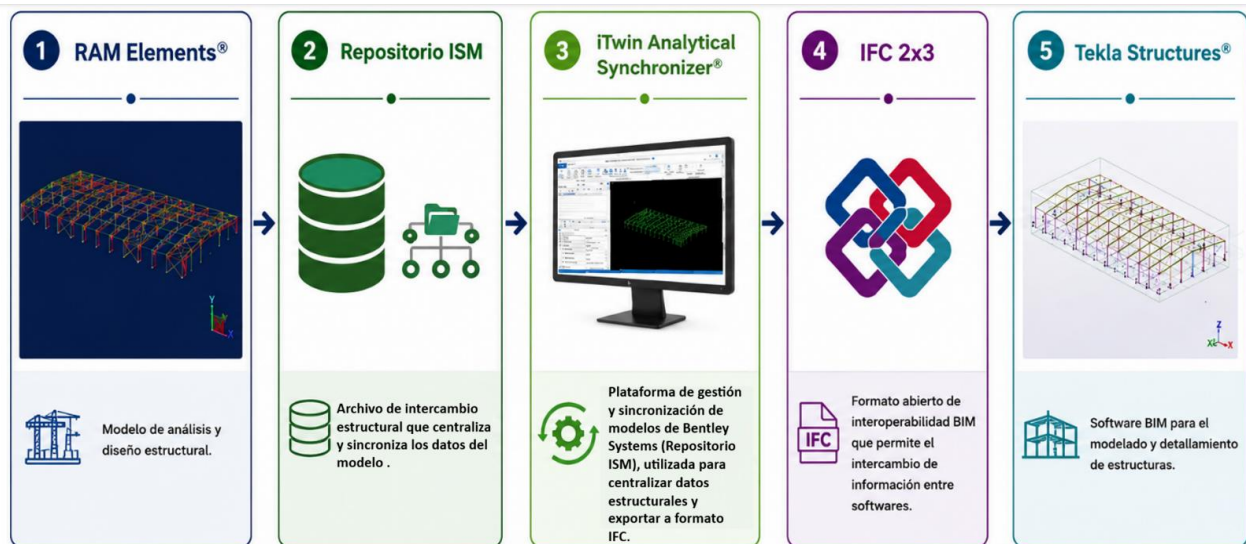


Figura N°15: Resumen del flujo de interoperabilidad.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

La *Tabla N°5* presenta la estrategia de intercambio propuesta, indicando para cada TDI su porcentaje de conservación, el impacto en el proceso de detallamiento para la fabricación, la prioridad de intercambio y las acciones recomendadas para su gestión o reconstrucción en *Tekla Structures®*.

Tipos de Información (TDI)	Descripción y propósito	Atributos evaluados RAM Elements® (ver tabla anexo A)	Conservación de la información		Nivel de Información	Impacto en la transferencia de la información	Prioridad para el intercambio	Estrategia para la reconstrucción de la información en Tekla Structures®
			Repositorio ISM	IFC 2x3				
TDI_A Información general del proyecto	Datos administrativos y de identificación del proyecto.	14 atributos Ej: Nombre del Proyecto, Cliente, Ingeniero estructural, Ingeniero supervisor, entre otros.	7 de 14 atributos 50% (Conservados)	7 de 14 atributos 50% (Conservados)	2 Información básica aproximada	Afecta la trazabilidad, identificación y control de versiones de la información.	MEDIA	Controlar las versiones del modelo mediante una nomenclatura estandarizada y verificar la consistencia del sistema de unidades entre los softwares involucrados.
TDI_B Propiedades físicas y geométricas	Dimensiones, características geométricas y propiedades físicas asociadas a los	15 atributos Ej: Longitud, Ancho, Profundidad secc transversal, Espesor, entre otros.	13 de 15 atributos 87% (Conservados)	6 de 15 atributos 40% (Conservados)	3 Información detallada	Afecta a la reconstrucción dimensional de los elementos estructurales.	ALTA	Realizar un control dimensional de elementos representativos para validar la geometría importada.
TDI_C Propiedades geográficas y de localización espacial	Información relacionada con coordenadas, ubicación y conectividad espacial de los elementos.	9 atributos Ej: N° de piso, Origen X, Y, Z, Coordenada nodos X, Y, Z, Conectividad y descripción: NÚnion miembro (nodo inicial miembro), entre otros.	7 de 9 atributos 78% (Conservados)	3 de 9 atributos 33% (Conservados)	2 Información básica aproximada	Afecta a la ubicación y alineación correcta de los elementos del modelo.	ALTA	Verificar la consistencia de coordenadas, conectividad y ubicación de los elementos estructurales tras la importación.
TDI_D Requerimientos específicos de información para el fabricante y/o constructor	Datos técnicos de fabricación, materialidad, componentes y tipología de elementos.	5 atributos Ej: Tipo de entidad, Nombre del material, Tipo de material, Región del material, entre otros.	4 de 5 atributos 80% (Conservados)	4 de 5 atributos 80% (Conservados)	2 Información básica aproximada	Afecta a la correcta asignación de perfiles y materiales,	ALTA	Definir perfiles y materiales con nomenclaturas compatibles entre softwares y verificar su correcta reconstrucción en Tekla Structures®
TDI_K Cumplimiento normativo	Información asociada a criterios de diseño, restricciones, cargas, combinaciones de cargas y requisitos normativos.	9 atributos Ej: Cargas sobre miembros: cargas distribuida X, Y, Z, RESTRICCIÓN TX, TY, TZ, Combinación de cargas, entre otros.	7 de 9 atributos 78% (Conservados)	0 de 9 atributos 0% (Conservados)	Pérdida de la información	Su pérdida no compromete el desarrollo del proceso de detallamiento.	BAJA	Gestionar de manera externa.

Tabla N°5: Estrategia de intercambio de la información.

Fuente: Elaboración propia, 2026

7.1. PRIORIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN PARA EL INTERCAMBIO

La estrategia de intercambio propuesta se fundamenta en la priorización de los Tipos de Información según su utilidad para la generación y detallamiento del galón de acero. Para ello, cada TDI fue evaluado considerando su aporte al desarrollo del modelo en *Tekla Structures*®, permitiendo identificar qué información debía preservarse, gestionarse o reconstruirse.

7.1.1. PRIORIDAD ALTA

Las categorías TDI_B, TDI_C y TDI_D fueron clasificados con prioridad alta debido a que contienen la información necesaria para definir la geometría, ubicación espacial de los elementos estructurales y características requeridas para la fabricación. En conjunto, estos TDI permiten reconstruir el modelo y desarrollar posteriormente el detallamiento. Por esta razón, cualquier pérdida asociada a estos TDI tiene un impacto directo.

7.1.2. PRIORIDAD MEDIA

La categoría TDI_A fue clasificada con prioridad media debido a que sus atributos contribuyen principalmente a la identificación, organización y trazabilidad de la información intercambiada. Aunque no intervienen directamente en la reconstrucción geométrica del modelo, facilitan la gestión de versiones y el control de actualizaciones durante el desarrollo del proyecto.

7.1.3. PRIORIDAD BAJA

La categoría TDI_K fue clasificada con prioridad baja debido a que los requerimientos asociados a normativas y reglamentos no participan directamente en la reconstrucción geométrica ni en el detallamiento del modelo. Si bien estos datos proporcionan antecedentes relevantes para el desarrollo de etapas de diseño avanzado, la definición de dichos criterios requiere verificaciones específicas que se realizan de manera independiente y se encuentra fuera del alcance de esta investigación.

7.2. ESTRATEGIA PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Considerando que las categorías TDI se clasificaron como baja, media y alta para el modelado digital del galpón de acero, se establecieron estrategias orientadas a la gestión y reconstrucción de aquellos datos que presentan pérdidas durante la interoperabilidad.

Estas estrategias buscan reducir la necesidad de reprocesamiento manual, facilitar su reconstrucción en *Tekla Structures*® y asegurar la continuidad de la información requerida para el desarrollo de conexiones, planos e informes.

7.2.1. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DOCUMENTAL Y TRAZABILIDAD (TDI_A)

Los atributos asociados a la categoría TDI_A cumplen una función de identificación y trazabilidad dentro del flujo de interoperabilidad. Si bien esta información no interviene directamente en la reconstrucción geométrica del modelo, resulta necesaria para asegurar la consistencia del intercambio y facilitar la gestión de actualizaciones durante el desarrollo del proyecto.

Con el propósito de mantener la trazabilidad de la información, se propone adoptar una nomenclatura para el nombre de los archivos basada en el Estándar BIM para Proyectos Públicos (Planbim de Corfo, 2021), definida mediante los campos Proyecto-Organización-Disciplina-Zona-Nivel-Tipo de documento-Número (opcional)-Descripción (opcional)-Estatus (opcional)-Revisión (opcional). No obstante, para el flujo de interoperabilidad analizado se considera obligatoria la incorporación del parámetro revisión, debido a que permite identificar las distintas versiones del modelo intercambiadas entre las etapas de análisis, diseño y detallamiento. Un ejemplo de nomenclatura corresponde a PR1-UCSC-ING-Z1-01-RA-01.

Por último, se recomienda verificar la consistencia del sistema de unidades utilizado entre los distintos softwares involucrados en la interoperabilidad. Esta medida permite asegurar una interpretación coherente de los atributos intercambiados y evitar discrepancias derivadas del uso de configuraciones incompatibles.

7.2.2. GESTIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y GEOMÉTRICAS (TDI_B)

Las propiedades físicas y geométricas constituyen la base para la representación de los elementos estructurales durante el proceso de interoperabilidad. En función de los resultados obtenidos, se identificó que la geometría de los elementos logra conservarse durante la transferencia de información. Sin embargo, ciertas configuraciones propias del modelo tales como la utilización de los cachos rígidos, los cuales corresponden a una herramienta de modelado que representa la zona rígida de la conexión entre vigas y columnas y que permite que el análisis estructural considere la longitud efectiva de los elementos en lugar de su longitud total entre ejes, puede afectar el dimensionamiento real de la estructura importada en el software de detallamiento.

Con el propósito de verificar la correcta conservación de esta información, se recomienda realizar un control dimensional mediante un muestreo selectivo de los elementos estructurales, verificando al menos un elemento representativo de cada tipología (vigas, columnas, entre otros).

7.2.3. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN ESPACIAL Y CONECTIVIDAD (TDI_C)

La información de propiedades geográficas y de localización espacial resulta fundamental para garantizar la correcta ubicación de los elementos estructurales dentro del modelo de detallamiento. Los resultados obtenidos evidenciaron pérdidas parciales asociadas a este Tipo de Información durante la interoperabilidad, por lo que se requiere implementar mecanismos de verificación que permitan asegurar la coherencia geométrica del modelo transferido.

En primer lugar, se recomienda verificar que el sistema de coordenadas y el origen de referencia definidos durante la exportación desde *RAM Elements*® hacia el Repositorio ISM sean consistentes con los utilizados en las etapas posteriores. Esta validación permite reducir posibles errores de posicionamiento al momento de importar el modelo en *Tekla Structures*® (Ver figura N°16).

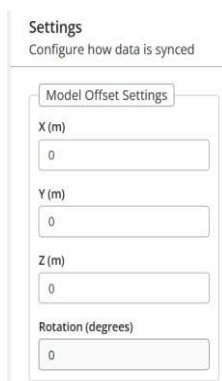


Figura N°16: Posicionamiento de referencia del modelo.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

Adicionalmente, se debe comprobar que los nodos y miembros estructurales mantengan relaciones de conectividad coherentes, verificando la definición y exportación de datos con respecto a puntos cardinales desde *RAM Elements*®. Esta revisión resulta fundamental debido a que dichas configuraciones constituyen la base para el posterior desarrollo del modelo de detallamiento, pudiendo afectar la ubicación de los elementos, la generación de uniones y la consistencia geométrica del modelo importado.

Finalmente, una vez reconstruido el modelo en *Tekla Structures*®, se recomienda verificar la posición de las vigas de acuerdo con los criterios constructivos del proyecto, de modo que la geometría del modelo de detallamiento represente adecuadamente las dimensiones finales del galpón antes de incorporar las conexiones para fabricación (Ver figura N°17).

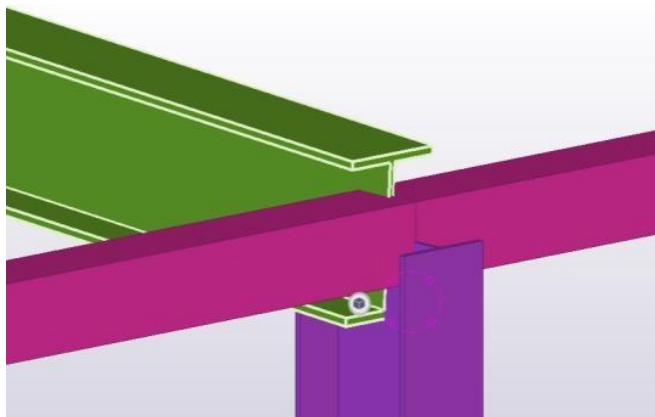


Figura N°17: Ejemplo de unión viga-columna según la definición de puntos cardinales.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

7.2.4. GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE DETALLAMIENTO PARA LA FABRICACIÓN (TDI_D)

Los datos asociados a requerimientos específicos de información para el fabricante y/o constructor son de alta relevancia para el detallamiento del modelo. Una correcta definición de estos parámetros asegura la reconstrucción de los elementos estructurales al momento de convertir los componentes importados en objetos nativos (Ver figura N°18).

En este sentido, se sugiere utilizar nomenclaturas consistentes para perfiles y materiales entre *RAM Elements*® y *Tekla Structures*®, ya que esto favorece la reconstrucción automática de la información, reduciendo la necesidad de asignaciones manuales.

Finalmente, esta compatibilidad requiere, además verificar que los catálogos nativos incluyan las secciones utilizadas, de lo contrario deben incorporarse previamente para garantizar la correcta reconstrucción del modelo BIM.

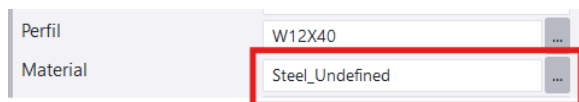


Figura N°18: Ejemplo: Material no está definido correctamente en *Tekla Structures*®.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

7.3. GESTIÓN DE ACTUALIZACIÓN DEL MODELO

Debido a que los proyectos estructurales experimentan modificaciones durante su desarrollo, la estrategia propuesta incorpora lineamientos para la gestión de actualizaciones del modelo. Estas actualizaciones pueden corresponder a cambios derivados a revisiones de diseño, ajustes geométricos o modificaciones solicitadas, las cuales deben integrarse al modelo de detallamiento sin comprometer la información previamente desarrollada.

En este contexto, resulta fundamental mantener la trazabilidad de las distintas versiones intercambiadas y disponer de mecanismos que permitan identificar de manera eficiente los cambios realizados. De igual forma, se requiere asegurar que las modificaciones incorporadas al modelo de detallamiento se reflejen posteriormente en la documentación generada para la fabricación. Por esta razón, la estrategia considera procedimientos para la detección de cambios mediante modelos de referencia y para la actualización de dibujos e informes asociadas al proyecto.

7.3.1. DETECCIÓN DE CAMBIOS MEDIANTE MODELOS DE REFERENCIA

Para incorporar actualizaciones del modelo estructural proveniente de *RAM Elements*® en *Tekla Structures*® sin perder el trabajo de detallamiento previamente desarrollado se propone un flujo basado en la detección de cambios mediante modelos de referencia. Este procedimiento depende directamente de la trazabilidad de las distintas versiones del modelo digital intercambiadas, utilizando para ello la nomenclatura estandarizada del nombre del archivo descrita en el capítulo 7.2.1. De esta forma, es posible identificar con precisión la versión más reciente del modelo y compararla con versiones previas para detectar las modificaciones realizadas.

Mediante esta funcionalidad, la detección de cambios permite optimizar el proceso de actualización del modelo de detallamiento a través de la identificación automática de los elementos afectados. Para ello, el sistema clasifica visualmente las modificaciones en distintas categorías, facilitando las acciones de incorporación, actualización o eliminación de elementos según corresponda (Ver figura N°19).

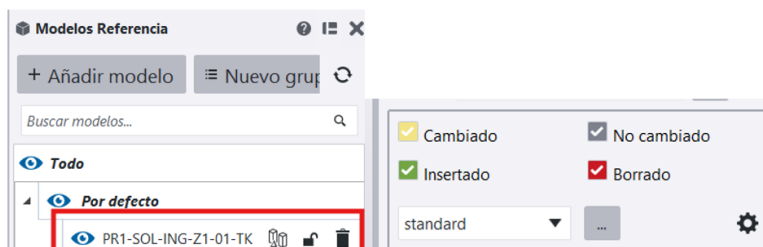
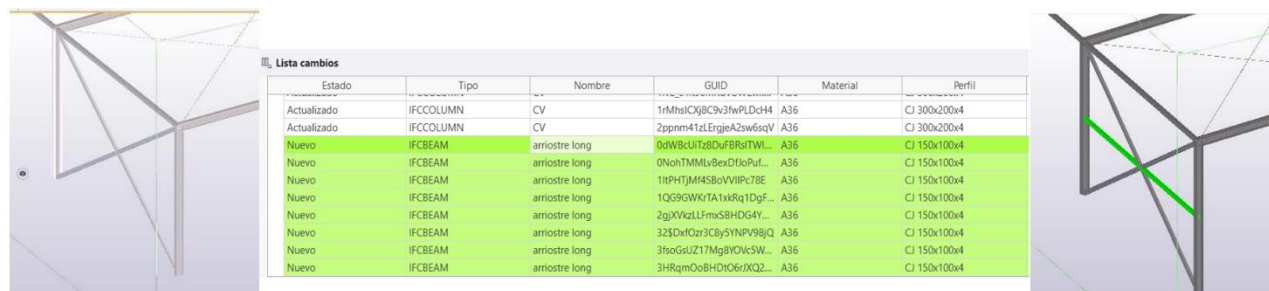


Figura N°19: Modelos de referencias y detección de cambios.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

A) ELEMENTOS INSERTADOS

El sistema identifica los nuevos elementos incorporados en la versión más reciente del modelo estructural y los destaca en color verde. Esto facilita su localización y posterior conversión a elementos nativos de *Tekla Structures*®, permitiendo incorporar las modificaciones sin afectar el trabajo de detallamiento previamente realizado (Ver figura N°20).



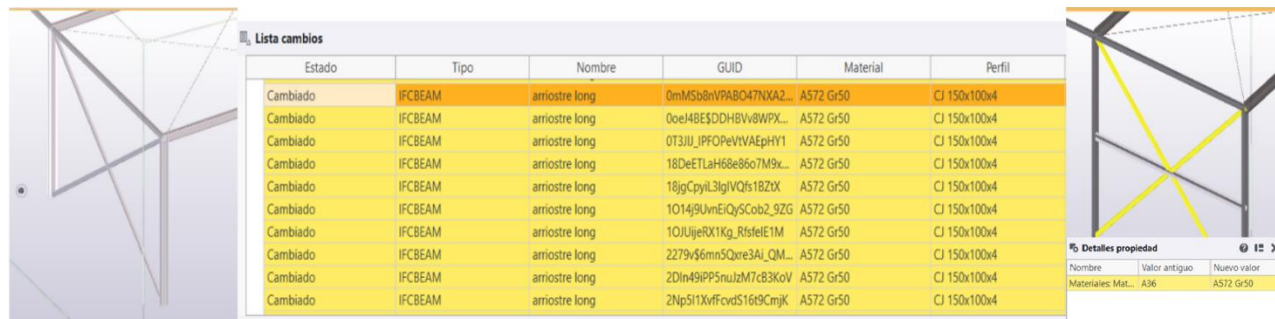
Estado	Tipo	Nombre	GUID	Material	Perfil
Actualizado	IFCCOLUMN	CV	1rMhslCKj8C9v3fwPLDdH4	A36	CJ 300x200x4
Actualizado	IFCCOLUMN	CV	2ppnm41zLErjieA2sw6sqV	A36	CJ 300x200x4
Nuevo	IFCBEAM	arriostre long	0dWBcU7d8DuF8RdTWL...	A36	CJ 150x100x4
Nuevo	IFCBEAM	arriostre long	0NohTMMlv8exDf1oPuL...	A36	CJ 150x100x4
Nuevo	IFCBEAM	arriostre long	1lPHTJM458oVWlPc7BE	A36	CJ 150x100x4
Nuevo	IFCBEAM	arriostre long	1QG9GWKtA1v4Rq1DgF...	A36	CJ 150x100x4
Nuevo	IFCBEAM	arriostre long	2gXVxatLLFmS8HDG4Y...	A36	CJ 150x100x4
Nuevo	IFCBEAM	arriostre long	325DxIOzr3C8y5YNPv9hQ	A36	CJ 150x100x4
Nuevo	IFCBEAM	arriostre long	3fsoGdUZ17Mg8YOVcSW...	A36	CJ 150x100x4
Nuevo	IFCBEAM	arriostre long	3HRqmOoBHDIO6iXQ2...	A36	CJ 150x100x4

Figura N°20: Detección de cambios de elementos insertados en el modelo.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

B) ELEMENTOS MODIFICADOS

El sistema detecta las variaciones existentes entre versiones del modelo y las resalta en color amarillo, indicando además las propiedades que han sido modificadas. Esta funcionalidad permite realizar actualizaciones puntuales sobre el modelo de detallamiento, reduciendo la necesidad de reconstruir información ya desarrollada (Ver figura N°21).

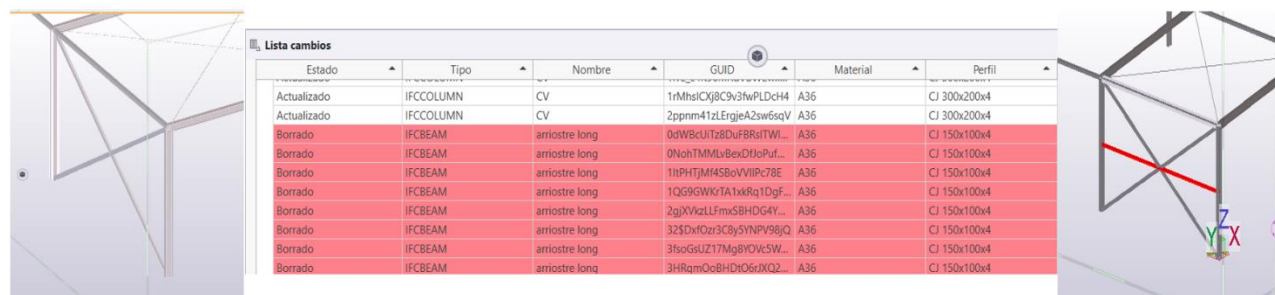


Estado	Tipo	Nombre	GUID	Material	Perfil
Cambiado	IFCBEAM	arriostre long	0mMSb8nVPAB047NXA2...	A572 Gr50	CJ 150x100x4
Cambiado	IFCBEAM	arriostre long	0oeJ4BE5DDH8V8WPX...	A572 Gr50	CJ 150x100x4
Cambiado	IFCBEAM	arriostre long	0T3JU_IPFOPEVtVAEphY1	A572 Gr50	CJ 150x100x4
Cambiado	IFCBEAM	arriostre long	18DeETLaH8e86o7M9x...	A572 Gr50	CJ 150x100x4
Cambiado	IFCBEAM	arriostre long	18jgCpyll3lgIVQf518ZIX	A572 Gr50	CJ 150x100x4
Cambiado	IFCBEAM	arriostre long	1014j9UvnEiQySCob2_9ZG	A572 Gr50	CJ 150x100x4
Cambiado	IFCBEAM	arriostre long	10IUijeRX1Kg_Rt5feIE1M	A572 Gr50	CJ 150x100x4
Cambiado	IFCBEAM	arriostre long	2279v\$6mnsQure3AJ_QM...	A572 Gr50	CJ 150x100x4
Cambiado	IFCBEAM	arriostre long	2Dln49PP5nuJzMTcB3koV	A572 Gr50	CJ 150x100x4
Cambiado	IFCBEAM	arriostre long	2Np511XvFcvd516t9CmjK	A572 Gr50	CJ 150x100x4

Figura N°21: Detección de cambios de elementos modificados en el modelo.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

C) ELEMENTOS ELIMINADOS

El sistema identifica los elementos que fueron eliminados en la versión más reciente del modelo proveniente de RAM Elements® y los destaca con color rojo. Esto permite actualizar oportunamente el modelo de detallamiento, evitando que elementos descartados sean considerados (Ver figura N°22).



Estado	Tipo	Nombre	GUID	Material	Perfil
Actualizado	IFCCOLUMN	CV	1rMhslCKj8C9v3hwPLDGH4	A36	CJ 300x200x4
Actualizado	IFCCOLUMN	CV	2ppnm41zLErgieA2sw6sqV	A36	CJ 300x200x4
Borrado	IFCBEAM	arriostre long	0uW8cUIz8DuFR8tTW...	A36	CJ 150x100x4
Borrado	IFCBEAM	arriostre long	0NohTMMUvBexDfoPuF...	A36	CJ 150x100x4
Borrado	IFCBEAM	arriostre long	11iPHTJM458ovVilPc78E	A36	CJ 150x100x4
Borrado	IFCBEAM	arriostre long	1Q99GWK1A1xkRq1DgF...	A36	CJ 150x100x4
Borrado	IFCBEAM	arriostre long	2qjXVzL1Fm58HDG4...	A36	CJ 150x100x4
Borrado	IFCBEAM	arriostre long	32SDx1Oar3C8y3YNP996Q	A36	CJ 150x100x4
Borrado	IFCBEAM	arriostre long	3fsoGsuZ17Mg8Y0Vc5W...	A36	CJ 150x100x4
Borrado	IFCBEAM	arriostre long	3HlRqmOoBHDH06xXQ2...	A36	CJ 150x100x4

Figura N°22: Detección de cambios de elementos eliminados en el modelo.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

7.3.2. ACTUALIZACIÓN DE DIBUJOS E INFORMES

Una vez incorporadas las modificaciones al modelo de detallamiento mediante el procedimiento de detecciones de cambios, se necesita actualizar la numeración de conjuntos y partes. Esto permite clasificar los nuevos elementos y garantizar que los informes generados reflejen la información vigente.

A partir de esto, la estrategia propuesta considera la actualización de la documentación a través de la herramienta de gestión de documentos permitiendo mantener las configuraciones iniciales de los dibujos e informes, reduciendo la necesidad de regenerar completamente la documentación y disminuyendo el riesgo de inconsistencias entre el modelo y los entregables asociados. La Figura N°23. presenta el flujo propuesto para la actualización integrada del modelo y su documentación. Como resultado de este proceso, las modificaciones incorporadas al modelo pueden reflejarse en la documentación asociada, incluyendo planos de fabricación e informes de cuantificación (Ver figura N°24).

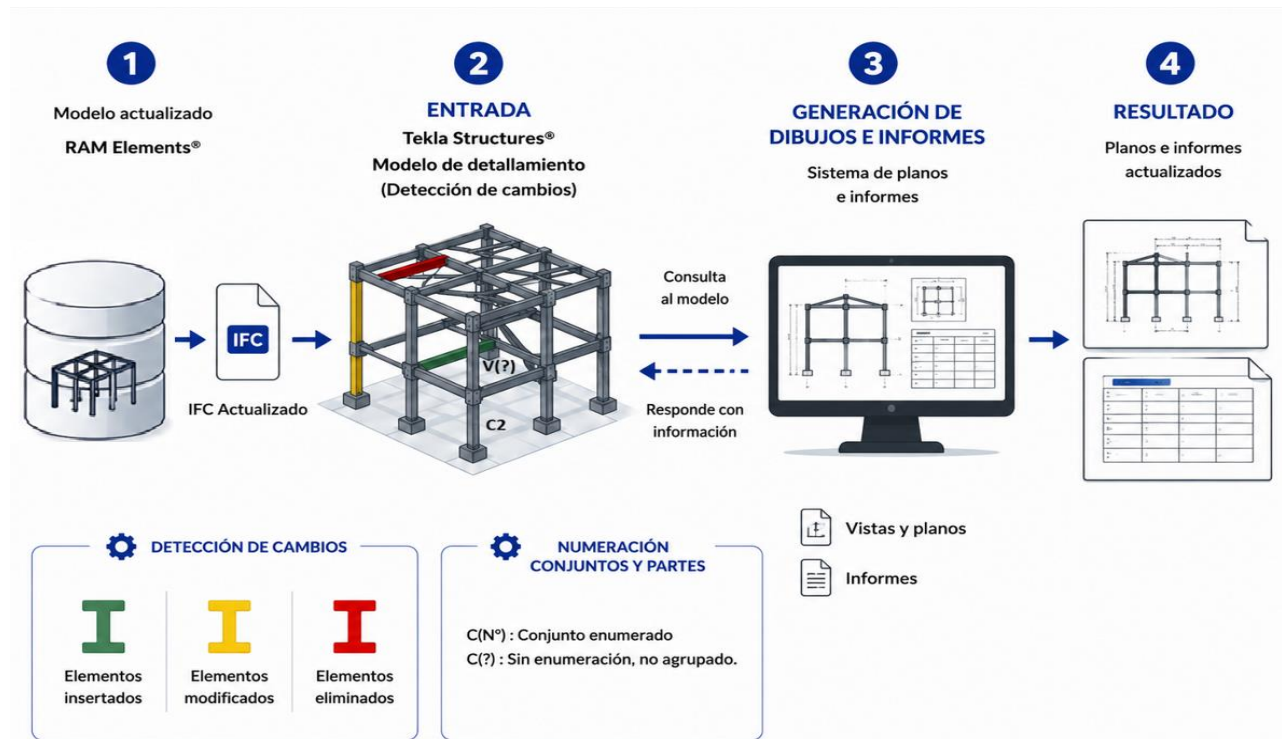


Figura N°23: Flujo propuesto para la actualización integrada del modelo y su documentación.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

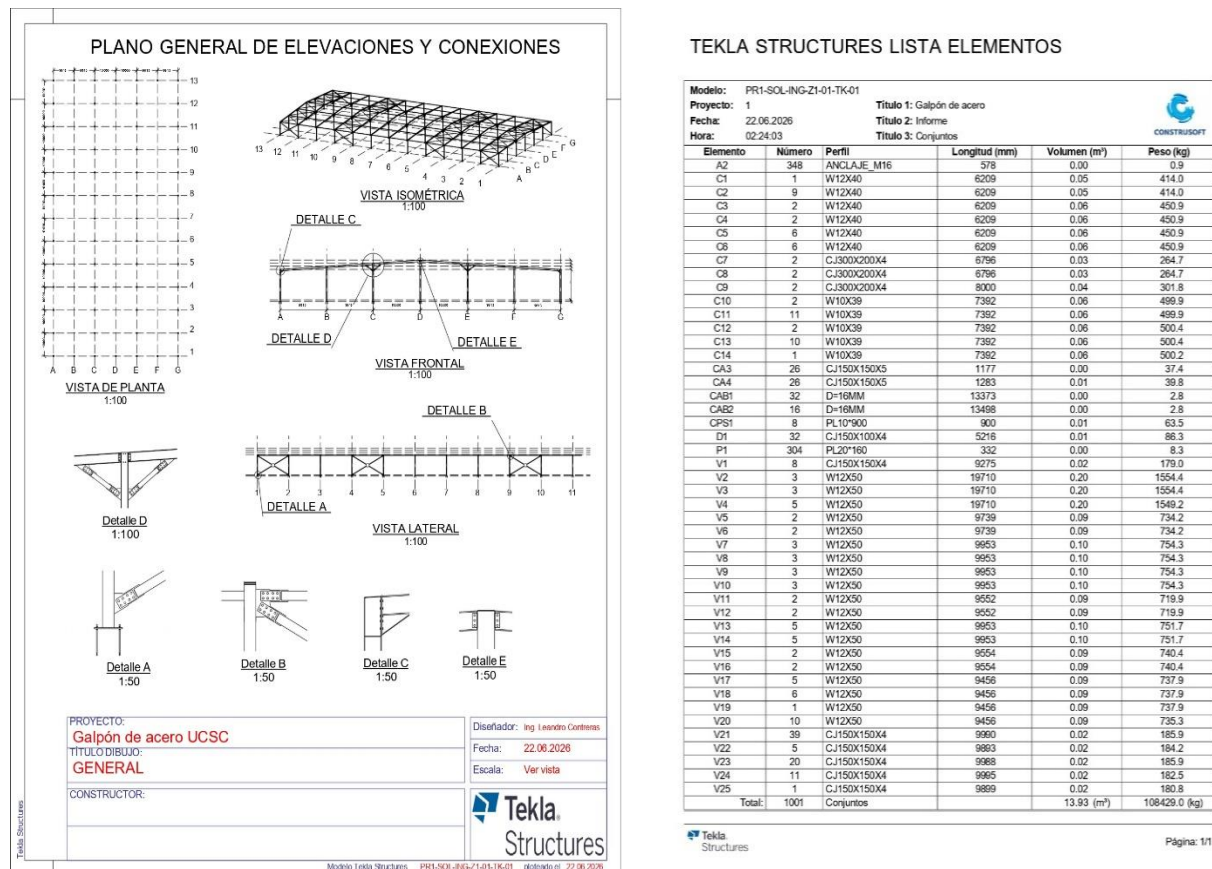


Figura N°24: Ejemplos de documentación para la fabricación a partir del modelo de detallamiento.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

8. ENTORNO COMÚN DE DATOS (CDE)

La adopción de *Trimble Connect*® como Entorno Común de Datos (CDE) para la fase de detallamiento, logró centralizar la información del proyecto, permitiendo gestionar tanto la información gráfica asociada al modelo tridimensional y no gráfica asociada a la documentación.

8.1. SINCRONIZACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL MODELO

Mediante el plugin de integración de *Tekla Structures*®, el modelo de detallamiento fue sincronizado con *Trimble Connect*®, permitiendo la transferencia de la información contenida en el modelo para su consulta y revisión. Asimismo, las modificaciones realizadas posteriormente pueden incorporarse mediante nuevas sincronizaciones.

8.2. GESTIÓN E INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

El modelo de detallamiento del galpón de acero fue incorporado en *Trimble Connect*® (Ver figura N°25) integrándose con un modelo de contexto tridimensional construido sobre un Modelo Digital del Terreno (MDT), el cual incorpora elementos representativos del entorno para permitir la visualización simultánea del proyecto dentro de un contexto territorial (Ver figura N°26). Si bien el proyecto desarrollado en esta investigación no se encuentra asociado a un emplazamiento real, ya que dicho aspecto quedó fuera del alcance de este estudio, esta integración permitió ejemplificar el funcionamiento de la plataforma para la coordinación de especialidades.

Como resultado, se obtuvo una vista unificada de la información provenientes de distintas disciplinas, evidenciando la capacidad del CDE para centralizar y coordinar modelos generados por diferentes áreas dentro de un entorno colaborativo.

Finalmente, la implementación del CDE implementado facilita la visualización del modelo BIM para revisores externos sin necesidad de registro. El acceso se gestiona de forma rápida mediante un enlace por correo electrónico o código QR (Ver figura N°27).

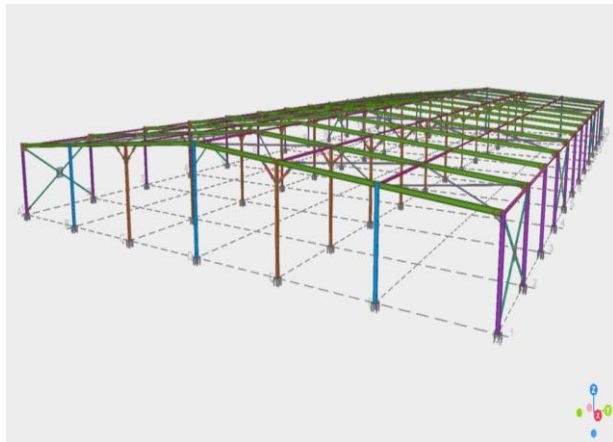


Figura N°25: Modelo de detallamiento galpón de acero.
Fuente: Elaboración propia, 2026.



Figura N°26: Modelo de integración BIM.
Fuente: Elaboración propia, 2026.



Figura N°27: Código QR, enlace modelo integrado en *Trimble Connect*®.
Fuente: Elaboración propia, 2026.

9. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió analizar la interoperabilidad unidireccional entre un software de cálculo y uno de modelado estructural en las fases de análisis, diseño y detallamiento para la fabricación de galpones de acero, utilizando un flujo de trabajo basado en *RAM Elements*®, Repositorio ISM, *iTwin Analytical Synchronizer*®, IFC 2x3 y *Tekla Structures*®. La totalidad del flujo de trabajo se desarrolló utilizando licencias de carácter educacional, una condición que eventualmente pudo haber restringido ciertas funciones avanzadas presentes en las versiones comerciales de dichos softwares.

Se evidenció que la permanencia de la información es selectiva, con pérdidas acumulativas a lo largo del flujo de trabajo. De los 52 datos inicialmente evaluados solo 20 llegaron al archivo en formato IFC 2x3, lo que refleja una reducción significativa de la información transferida. También se observó que la correcta sincronización de nomenclaturas permite reconstruir parte de la información en *Tekla Structures*®, especialmente la relacionada con perfiles y materiales (TDI_D). Sin embargo, esta recuperación no se extiende a la gestión de documentos ni a otros datos no geométricos, los cuales presentan mayores dificultades de conservación y reconstrucción. A su vez, los niveles de información alcanzados se ubicaron entre NDI 2 y NDI 3, evidenciando que el flujo analizado resulta útil para la transición hacia la fase de detallamiento y fabricación, pero no garantiza la preservación íntegra de la información estructural, especialmente aquella asociada al análisis, diseño y cumplimiento normativo.

A partir de la identificación de los patrones de conservación, pérdida y reconstrucción, se propuso una estrategia de intercambio basada en los Tipos de Información (TDI) y Niveles de Información (NDI), con el propósito de priorizar aquellas características con mayor utilidad para el detallamiento. Bajo esta premisa, se establecieron como fundamentales las propiedades físicas y geométricas (TDI_B), las propiedades geográficas y de localización espacial (TDI_C) y los requerimientos específicos de información para el fabricante y/o constructor (TDI_D), debido a que se concentran los datos más relevantes para la reconstrucción del modelo *Tekla Structures*®. Por consiguiente, se definieron acciones y sugerencias de gestión y reconstrucción, mediante la verificación y unificación de nomenclaturas de perfiles y materiales, la validación de la conectividad de elementos, el control de versiones, entre otros. En consecuencia, se evidenció que la estrategia propuesta permite priorizar la información crítica para el detallamiento, orientando su reconstrucción y gestión en función de su utilidad real dentro del flujo de interoperabilidad.

En relación con la implementación del Entorno Común de Datos (CDE), se concluye que su incorporación permitió consolidar un entorno colaborativo para la gestión de la información gráfica y no gráfica del caso de estudio, facilitando el almacenamiento seguro, favoreciendo la revisión del modelo a distancia sin la necesidad de entrar a un software especializado. Lo anterior, manteniendo un historial de las distintas versiones y unificando los modelos de las diferentes áreas involucradas en el proyecto. De este modo, el CDE se consolida como una herramienta clave para la interoperabilidad y la colaboración entre disciplinas durante las distintas etapas del ciclo de vida del activo.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten concluir que la interoperabilidad unidireccional analizada facilita la transición desde el análisis y diseño estructural hacia el detallamiento. Sin embargo, su efectividad depende de la conservación de la información crítica, de la adecuada gestión de los datos prioritarios y del uso de herramientas complementarias que permite controlar, reconstruir y dar seguimiento a dicha información cuando sea necesario. Bajo esta perspectiva, el flujo analizado evidencia la transición entre esquemas de trabajo asociados a entornos Closed BIM, donde predominan mecanismos específicos de intercambio, hacia estrategias orientadas a Open BIM mediante la utilización de estándares abiertos como IFC.

En este contexto, la interoperabilidad no debe entenderse únicamente como la transferencia de archivos entre plataformas, sino como un proceso orientado a preservar y aprovechar la información que aporta valor al flujo de trabajo, priorizando su utilidad para el detallamiento por sobre la cantidad de atributos transferidos.

10. REFERENCIAS

Asociación Francófona de Usuarios de Software Libre [AFUL]. (2015). *Interoperabilidad*. <https://aful.org/gdt/interop>

Bentley Systems. (2026). *RAM Elements 2026: User Manual*. <https://docs.bentley.com/LiveContent/web/RAM%20Elements-v2026/User%20Manual/en/Topic/re/Topic/Manual/c-re%20General%20Overview.html>

BIM Forum Chile. (2021). *Memorias del Congreso Internacional BIM Forum Chile 2021: El valor de la información en la gestión de proyectos*.

buildingSMART International. (2024). *BuildingSMART International: The Home of BIM*. <https://www.buildingsmart.org/>

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook: A guide to building Information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). Wiley.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of Information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling–Part 1: Concepts and principles*.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 19650-2:2018. Organization and digitization of Information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling–Part 2: Delivery phase of the assets*.

International Organization for Standardization. (2024). *ISO 16739-1:2024. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries–Part 1: Data schema*.

Loyola, M. (2025). *Encuesta Nacional BIM 2025: Informe de resultados*. Departamento de arquitectura, Universidad de Chile. https://fau.uchile.cl/dam/jcr:81c621db-2af1-42c2-8e62-bea7a423ebe9/informe_encuesta_bim_2025.pdf

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

Olivares, R. F. (2025). Productividad y transformación digital: el rol del BIM en la industria de la construcción chilena. *Obras y Proyectos*, 38, 47-60. <https://www.scielo.cl/pdf/oyp/n38/0718-2813-oyp-38-47.pdf>

Planbim & Corporación de Fomento de la Producción. (2021). *Estándar BIM para Proyectos Públicos: Intercambio de información entre solicitante y proveedores* (Versión 1.1).

Planbim & Corporación de Fomento de la Producción. (2023). *Matriz de información de entidades BIM* (Versión 3.0). <https://construye2025.cl/2025/01/13/matriz-de-informacion-de-entidades/>

Portal Minero. (2022, 28 de Marzo). *Galpones modulares se volverán tendencia el 2022 en sectores de minería, retail y logística*. <https://www.portalminero.com/galpones-modulares-se-volveran-tendencia-durante-el-2022-en-sectores-de-la-mineria-retail-y-logistica>

Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and Delivery Foundation for Industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.

Trejo Carvajal, N.A (2018). *Estudio de impacto del uso de la metodología BIM en la aplicación y control de proyectos de ingeniería y construcción* (Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile). Universidad de Chile.

Trimble Inc. (2026). *Tekla Structures 2026: Product features and product documentation*. <https://support.tekla.com/tekla-structures>

Yu, Y., Kim, S., Jeon, H., & Koo, B. (2023). A systematic review of the trends and advances in IFC schema extensions for BIM Interoperability. *Applied Sciences*, 13(23), 12560. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/23/12560>

11. ANEXO A

N°	Información evaluada en RAM Elements®	Estado Repositorio ISM	Estado IFC 2x3	Niveles de información	Tipos de información
1	Nombre del Proyecto	Pérdida de información	Pérdida de información	1	TDI_A
2	Cliente	Pérdida de información	Pérdida de información	1	
3	Nombre del Ingeniero estructural	Pérdida de información	Pérdida de información	1	
4	Nombre del Ingeniero supervisor	Pérdida de información	Pérdida de información	1	
5	Número de trabajo	Pérdida de información	Pérdida de información	1	
6	Fecha de creación del archivo	Información conservada	Información conservada	1	
7	Ruta del archivo	Información conservada	Información conservada	1	
8	Ubicación del proyecto	Pérdida de información	Pérdida de información	1	
9	Fecha de modificación	Información conservada	Información conservada	2	
10	Sistema de unidades	Información conservada	Información conservada	2	
11	Descripción/Nombre del elemento	Información conservada	Información conservada	2	
12	Nombre del Archivo	Información conservada	Información conservada	2	
13	Revisión	Información conservada	Información conservada	2	TDI_B
14	Descripción general del proyecto	Pérdida de información	Pérdida de información	2	
15	Longitud	Información conservada	Información conservada	2	
16	Ancho	Información conservada	Información conservada	3	
17	Profundidad secc. transversal	Información conservada	Información conservada	3	
18	Espesor	Información conservada	Información conservada	3	
19	Radio de doblado	Información conservada	Información conservada	3	
20	Diametro	Información conservada	Información conservada	3	
21	Peso del elemento	Información conservada	Pérdida de información	3	
22	Peso específico	Información conservada	Pérdida de información	3	
23	Coef. de dilatación térmica	Información conservada	Pérdida de información	3	
24	Módulo de elasticidad	Información conservada	Pérdida de información	3	TDI_C
25	Tensión de fluencia del acero (Fy)	Información conservada	Pérdida de información	3	
26	Resistencia última del acero (Fu)	Información conservada	Pérdida de información	3	
27	Coefficiente de poisson	Información conservada	Pérdida de información	3	
28	Relación de tensiones de fluencia (Ry)	Pérdida de información	Pérdida de información	4	
29	Relación de resistencia a tensión (Rt)	Pérdida de información	Pérdida de información	4	
30	Número de piso	Información conservada	Pérdida de información	1	TDI_D
31	Origen x	Información conservada	Información conservada	2	
32	Origen y	Información conservada	Información conservada	2	
33	Origen z	Información conservada	Información conservada	2	
34	Coordenadas NODOSX	Información conservada	Pérdida de información	2	
35	Coordenadas NODOSY	Información conservada	Pérdida de información	2	
36	Coordenadas NODOSZ	Información conservada	Pérdida de información	2	TDI_K
37	Conectividad y descripción: NJunción miembro (nodo inicial miembro)	Pérdida de información	Pérdida de información	3	
38	Conectividad y descripción: NKunción miembro (nodo final miembro)	Pérdida de información	Pérdida de información	3	
39	Tipo de entidad	Información conservada	Información conservada	2	
40	Nombre del material	Información conservada	Información conservada	2	
41	Tipo de material	Información conservada	Información conservada	2	
42	Región del material	Pérdida de información	Pérdida de información	2	TDI_K
43	Nombre de la seccion	Información conservada	Información conservada	2	
44	Cargas sobre miembros: cargas distribuida X	Información conservada	Pérdida de información	3	
45	Cargas sobre miembros: cargas distribuida Y	Información conservada	Pérdida de información	3	
46	Cargas sobre miembros: cargas distribuida Z	Información conservada	Pérdida de información	3	
47	RESTRICCION TX	Información conservada	Pérdida de información	3	
48	RESTRICCION TY	Información conservada	Pérdida de información	3	
49	RESTRICCION TZ	Información conservada	Pérdida de información	3	
50	Combinación de cargas	Pérdida de información	Pérdida de información	4	TDI_K
51	Diseño de acero	Pérdida de información	Pérdida de información	4	
52	Orientación/Rotación	Información conservada	Pérdida de información	4	