

# DISEÑO DE CONEXIONES TÍPICAS UTILIZADAS EN NAVES ESTRUCTURALES EN ACERO, APLICANDO INTEROPERABILIDAD ENTRE UN PROGRAMA DE CÁLCULO DE UNIONES Y UNO DE MODELADO BIM.

*S. Jarpa Diaz<sup>1</sup>, L. Roa Rojas<sup>2</sup>, C. Correa Rogel<sup>3</sup>.*

## RESUMEN

La metodología BIM (Building Information Modeling) representa un notable avance en materia de manejo de información asociada con un proyecto que se enmarca en la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC). Durante los últimos años, BIM ha emergido como un recurso moderno que permite trabajar más allá de dos dimensiones en un simple plano, permitiendo el trabajo y visualización en 3D de una manera precisa y ordenada. En el área de la fabricación de estructuras de acero, la contribución de esta metodología ha sido observada con la posibilidad de utilización de programas de detallado que entregan gran cantidad de información asociada con esta área y con un alto nivel de exactitud. En el caso del cálculo estructural, la posibilidad de elaborar modelos de cálculo que adicionalmente pueden aprovecharse para los procesos de elaboración de documentos de ingeniería y fabricación es, sin duda, un notorio avance en materia de optimización, por lo que surge la necesidad de aplicar un concepto asociado con la metodología BIM, interoperabilidad, que permite que sea posible integrar información entre diferentes softwares de distintos fabricantes, un proceso complejo pero que ha ido en evolución en los últimos años. La presente investigación apunta a integrar información entre un programa de detallado estructural y uno de cálculo de conexiones. Utilizar información geométrica entre dos softwares aporta rapidez en los procesos de cambios o modificaciones que son requeridas.

**PALABRAS CLAVES:** Building Information Modeling (BIM). Interoperabilidad. Integrar

## ABSTRACT

The BIM (Building Information Modeling) methodology represents a remarkable advance in the management of information associated with a project in Architecture, Engineering, and Construction (AEC). During the last few years, BIM has emerged as a modern resource that allows working beyond two dimensions in a simple plan, allowing the work and visualization in 3D in a precise and orderly manner. In the area of steel structure fabrication, the contributions of this methodology have been observed with the possibility of using detailing programs that deliver a large amount of information associated with this area and with an elevated level of accuracy. In the case of structural calculation, the possibility of elaborating calculation models that can additionally be used for the elaboration processes of engineering and fabrication documents is undoubtedly a notorious advance in terms of optimization. Therefore, the need arises to apply a concept associated with the BIM methodology, interoperability, which makes it possible to integrate information between different software from different manufacturers, a complex process that has been evolving in recent years. The present research aims at integrating information between a structural detailing program and a connection calculation program. Using geometrical information between two software provides speed in the process of changes or modifications that are required.

**KEYWORDS:** Building Information Modeling (BIM). Interoperability. Integrate

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. [sjarpa@ing.ucsc.cl](mailto:sjarpa@ing.ucsc.cl)

<sup>2</sup> Profesor Guía, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. [lroa@ucsc.cl](mailto:lroa@ucsc.cl)

<sup>3</sup> Profesor Informante, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile, [claudiocorrea@ucsc.cl](mailto:claudiocorrea@ucsc.cl)

## 1. INTRODUCCIÓN

Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativo que permite la creación y gestión de un proyecto de construcción activo mediante un modelo digital de información. Aunque no existe una definición única de BIM, en general, abarca tres aspectos interconectados: la existencia de un modelo 3D, un proceso de desarrollo que le dota de información y un entorno multidisciplinar en el que se coordinan las distintas áreas del proyecto. De este modo, el uso de tecnología y metodología BIM ha revolucionado el sector de la construcción y mejora muchos de los procesos existentes, desde el diseño hasta el mantenimiento de un edificio o infraestructura.

Recientemente en Chile, la adopción de la metodología BIM ha sido un proceso gradual y coordinado, involucrando a distintas instituciones públicas y privadas. Este enfoque colaborativo ha facilitado la implementación de BIM en el sector, mejorando la eficiencia en la gestión de proyectos, reduciendo costos y plazos, y optimizando la operación y el mantenimiento de la infraestructura en el país.

La Corporación de Fomento de la Producción (Corfo) ha desempeñado un papel fundamental en la promoción de la metodología BIM en Chile. A través del Plan BIM, esta entidad ha impulsado el uso de este plan en proyectos públicos y ha fomentado la colaboración entre los diferentes actores del sector, tales como entidades gubernamentales, empresas constructoras, consultoras de ingeniería y arquitectura, y profesionales del ámbito de la construcción y arquitectura. Además, Corfo ha trabajado en la identificación de barreras y desafíos en la adopción de BIM, y ha propuesto soluciones para superar estos obstáculos, asegurando así un proceso de implementación más efectivo y sostenible.

De acuerdo en lo mencionado por observatorio BIM (2015), PlanBIM, es un programa estatal de 2016 a 2025 que busca implementar BIM en proyectos públicos para 2020 y en proyectos privados con la Dirección de Obras Municipales (DOM) en línea para 2025, promoviendo eficiencia y calidad en la construcción.

La Comisión Interministerial BIM de Chile también ha sido un actor clave en la promoción y estandarización de esta metodología en el país. Esta comisión está trabajando en la definición de un estándar BIM común y transversal para el desarrollo de proyectos públicos, lo que permitirá estandarizar procesos y facilitar la comunicación efectiva y la interoperabilidad entre los diferentes actores involucrados en la industria de la construcción. Al establecer directrices y protocolos comunes, la Comisión Interministerial BIM de Chile ha contribuido a la interoperabilidad entre las distintas disciplinas y profesionales involucrados en un proyecto, lo que a su vez ha mejorado la calidad y la eficiencia en la ejecución de proyectos de infraestructura.

La metodología BIM se puede aplicar de forma eficaz en el diseño y construcción de naves de acero, ya que permite gestionar toda la información de la estructura metálica a través de un modelo digital tridimensional. Este modelo contiene los datos geométricos, las propiedades de los materiales, las cargas, los esfuerzos, las deformaciones, esfuerzos, las uniones, los detalles constructivos y los costos de la nave industrial. Al utilizar BIM, se puede coordinar la información entre las diferentes disciplinas y profesionales involucrados en el proyecto, así como realizar análisis estructurales, simulaciones de construcción, documentación y planificación de forma integrada y eficiente. De esta forma, se puede optimizar el diseño, el cálculo y el montaje de las naves de acero, así como reducir los riesgos e incertidumbres.

En el diseño y construcción de las naves de uso industrial, es posible encontrar diversas tipologías de conexiones. Sin embargo, algunas oficinas de ingeniería se especializan en naves estándar que involucran

cálculos similares con ligeras modificaciones. Para determinar estas adaptaciones, se emplean programas de cálculo que posteriormente se integran con programas de modelado.

Aunque se utilicen modelos estructurales similares, pero no idénticos, es esencial realizar ajustes en las uniones y perfiles debido a las variaciones en las necesidades de distintos clientes. En la actualidad, muchas oficinas de ingeniería siguen un proceso que implica realizar nuevos cálculos y volver a modelar el proyecto, incluso si la conexión es bastante similar. Esta redundancia y falta de eficiencia se debe a la falta de integración entre las diferentes herramientas tecnológicas que utilizan los actores involucrados en el proceso.

Para mejorar la eficiencia y efectividad de este proceso, surge la necesidad de desarrollar soluciones que permitan una mayor automatización y reutilización de datos y diseños. Esto no solo agilizaría el trabajo de ingeniería, sino que también reduciría la posibilidad de errores y redundancias en el diseño de naves de acero.

## **2. METODOLOGÍA**

La presente tesis se sitúa en el ámbito de la investigación descriptiva, que, según Arias (2012), implica la delineación de un hecho, fenómeno, individuo o grupo con el propósito de establecer su estructura o comportamiento. En relación al diseño, según Arias (2012), la investigación documental se define como un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, aquellos obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales, ya sean impresas, audiovisuales o electrónicas; esta tesis se ajusta a una investigación documental.

Se fundamenta el proceso en la recopilación y análisis de datos de proyectos de ingeniería en la fase de diseño en la empresa Solving Soluciones de Ingeniería Ltda; empresa ubicada en la ciudad de Concepción, Chile, dedicada al diseño y cálculo de estructuras. Para esto se realiza una revisión del flujo actual al proceso de diseño y modelado de conexiones y se propone un nuevo flujo de trabajo aplicando el concepto de interoperabilidad entre los softwares involucrados.

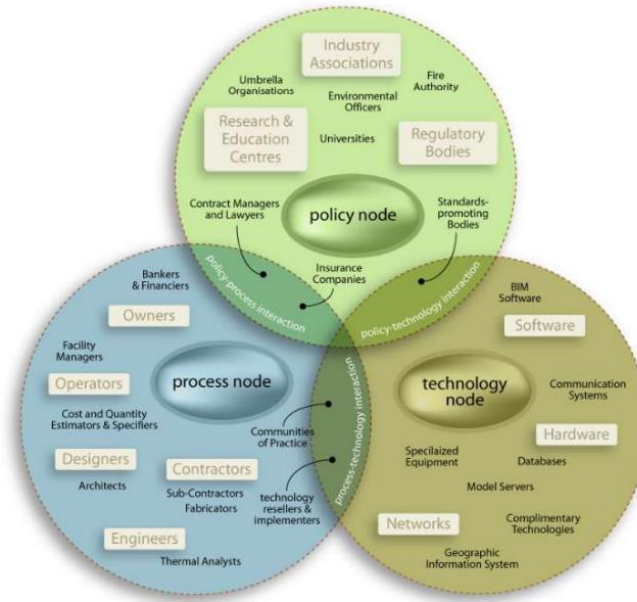
## **3. MARCO TEÓRICO**

### **3.1 Campos BIM**

BIM es un enfoque integrado que abarca diversos aspectos del ciclo de vida de un activo. Para analizar sistemáticamente el concepto de BIM, se subdivide en componentes básicos: Campos BIM, etapas BIM y lentes BIM. El presente marco teórico se centra en los Campos BIM, que permiten identificar los actores y entregables del sector.

Como se ilustra en la figura 1 los Campos BIM se agrupan en tres círculos: Políticas BIM, Procesos BIM y Tecnologías BIM. El círculo Políticas BIM incluye a los actores responsables de la generación de normas, directrices y contratos, como organismos reguladores e instituciones educativas. El círculo Procesos BIM abarca a los actores directamente involucrados en la ejecución de proyectos de construcción, incluyendo propietarios, proyectistas y contratistas. El círculo Tecnologías BIM comprende a los desarrolladores de herramientas, software y tecnologías relacionadas con el diseño, construcción y operación de proyectos.

La investigación se centrará en el campo de Procesos BIM, enmarcado dentro de los campos BIM definidos por Succar et al. (2007). Dentro de los campos BIM, los actores considerados son las constructoras, que representan a los responsables de la ejecución de proyectos de construcción utilizando herramientas y metodologías BIM en el diseño, construcción y mantenimiento de edificaciones e infraestructuras.



**Figura 1.** Marco de investigación BIM propuesto donde se incluyen los tres nodos de conocimiento interrelacionados.

Fuente: Succar, et al. (2007). A

*Proposed Framework to Investigate Building Information Modelling Through Knowledge Elicitation and Visual Models.*

### 3.2 Usos BIM

Los Usos BIM son aplicaciones de BIM durante el ciclo de vida de activos para lograr objetivos específicos, explicando cómo las partes interesadas pueden utilizar BIM. Las definiciones en el Estándar BIM para Proyectos Públicos de CORFO en Chile, se fundamentan en el Building Information Modeling Project Execution Planning Guide de la Universidad de Penn State, que establece veinticinco usos BIM, como muestra la figura 2

**Tabla 06. Usos BIM**

**Figura 2. Usos BIM.**

Fuente: ESTANDAR BIM PARA PROYECTOS PUBLICOS.

Esta investigación se enfocará en los siguientes usos BIM según el Plan BIM CORFO:

**Uso 2:** Estimación de cantidades y costos, que implica la extracción de información de modelos BIM para prever costos y tiempos en distintas etapas del proyecto, mejorando la eficiencia en la planificación. Los modelos BIM proporcionan detalles específicos de los componentes del proyecto, lo que lleva a cálculos precisos de materiales y tiempos, reduciendo la posibilidad de sobrecostos y aumentando la eficiencia financiera en la planificación.

**Uso 18:** Fabricación digital es un proceso que utiliza información de modelos BIM (Building Information Modeling) para simplificar la creación de componentes de construcción o ensamblajes. En otras palabras, se aprovecha la tecnología digital para fabricar elementos de manera más eficiente y precisa. En resumen, esta metodología ayuda a reducir errores y minimizar el desperdicio durante la fase de fabricación.

**Uso 19:** Control de obra, que se enfoca en el monitoreo, análisis, administración y optimización de la construcción mediante modelos BIM, asegurando el cumplimiento de especificaciones técnicas, regulaciones, seguridad y requerimientos del propietario, así como el respaldo de los estados de pago en función de los avances logrados.

El control de obra en BIM permite el monitoreo continuo de los procesos de construcción, lo que asegura el cumplimiento de las especificaciones técnicas y reglamentarias y ayuda a evitar retrasos. Además, BIM facilita la comprobación de los avances logrados, lo que mejora la transparencia y precisión en los estados de pago, resultando en una mejor gestión de costos a lo largo del proyecto.

### **3.3 Software BIM**

Un software BIM es una aplicación informática diseñada para implementar la metodología BIM en el proceso de diseño, construcción y gestión de activos. Estos programas permiten la creación y manipulación de modelos digitales tridimensionales que contienen información detallada sobre todos los aspectos de un proyecto, como la geometría, los materiales, los costos, cronograma, etc.

Un software califica como BIM cuando cumple con requisitos esenciales. Esto incluye la capacidad para crear modelos digitales tridimensionales precisos que contienen información detallada sobre la construcción, permitiendo la colaboración en tiempo real entre los participantes del proyecto. Además, debe ser interoperable, facilitando el intercambio de datos con otros programas, y permitir la gestión eficiente de cambios en el diseño. La inclusión de herramientas de análisis y simulación, así como la generación automática de documentación.

En la presente investigación, se emplean principalmente dos softwares BIM. El primero de ellos es Tekla Structures, un programa de modelado impulsado por Construsoft, que se especializa en la representación detallada de estructuras de hormigón y metal. Tekla Structures facilita la creación de modelos tridimensionales precisos y la gestión eficiente de información integral para proyectos de construcción. El segundo software utilizado es Idea StatiCa, enfocado en la verificación rápida de conexiones de metal y madera, proporcionando herramientas específicas para garantizar la seguridad y la eficiencia estructural en elementos clave del proyecto.

## **4. ANTECEDENTES.**

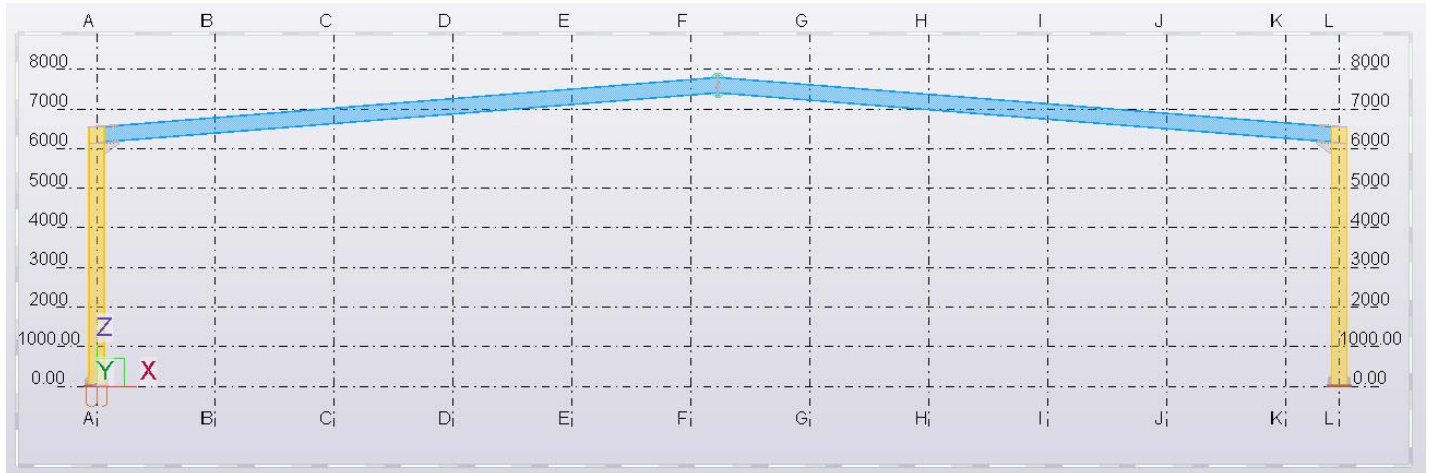
En Solving Soluciones de Ingeniería Ltda, la creación de naves industriales es una práctica recurrente, guiada por diversos factores como las condiciones ambientales, el propósito del activo y las solicitudes específicas de los clientes. La empresa emplea herramientas, como Tekla Structures para el modelado e Idea Conexión para la verificación de uniones.

En la fase de modelado se persigue la estandarización de los procesos para mejorar los resultados y optimizar los recursos. Se inició consultando las uniones más frecuentes, generando así un catálogo que proporciona un prediseño. Este enfoque no solo optimiza el tiempo de trabajo de los modeladores, sino que también se adapta a los cambios inevitables en las conexiones durante la etapa de diseño, ya sean provocados por consideraciones constructivas o solicitudes adicionales. La metodología desarrollada se aplicará en un escenario típico de nave industrial para demostrar sus ventajas, con la posibilidad de extrapolar estos beneficios a toda la estructura.

## **5. DISEÑO PARAMÉTRICO.**

Para estandarizar esta investigación se proporcionó un marco metálico de una nave industrial típica de esta empresa, que cuenta con 2 tipos conexiones; adicionalmente se evalúan 2 conexiones utilizadas comúnmente en Solving Soluciones de Ingeniería Ltda. Para su mejor análisis, se detallará cada una de estas uniones.

El marco está compuesto por 2 columnas de perfil HN400X200X16X10 de longitud 6,5 m a ambos lados y 2 vigas centrales de perfil IPE400 de longitud 15.5m; cuenta con una placa base en cada lado, dos conexiones de hombro y una conexión central, como muestra la figura 3.

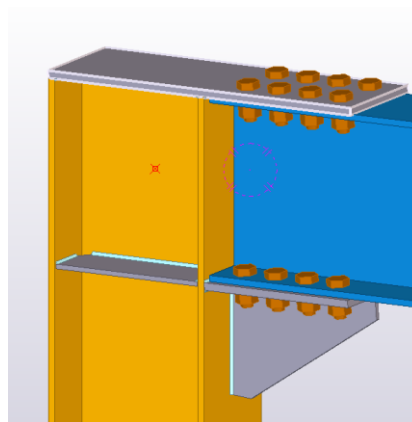


**Figura 3. Marco**  
 Fuente. Elaboración propia

Se procede a detallar cada una de las conexiones involucradas en el estudio, para esto se hace uso de imágenes provenientes del software de modelado estructural Tekla Structures.

### 5.1 Conexión de hombro [CON01]

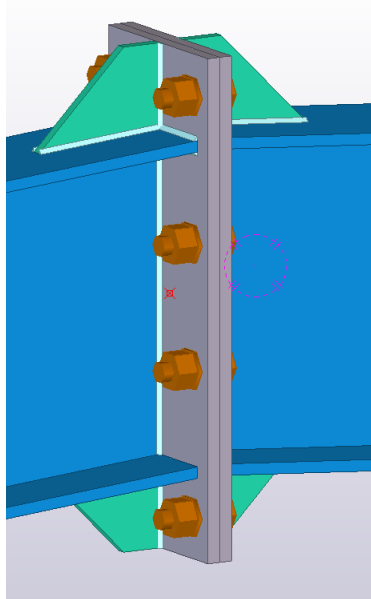
Como se observa en la figura 4, esta conexión utilizada para uniones de Columna-Viga utilizada en el hombro del marco, cuenta con placa superior de 16 mm conectada con soldadura a la columna y ocho tornillos de 1 pulgada de diámetro a la viga, en la parte inferior cuenta con una placa de 16 mm conectada de igual forma. Además de esto, cuenta con atiesadores de 10 mm soldados en cada lado de la columna y en la parte inferior de la viga, un atiesador de 8 mm.



**Figura 4. Conexión de hombro [CON01]**  
 Fuente. Elaboración propia

## 5.2 Conexión de viga central [CON02]

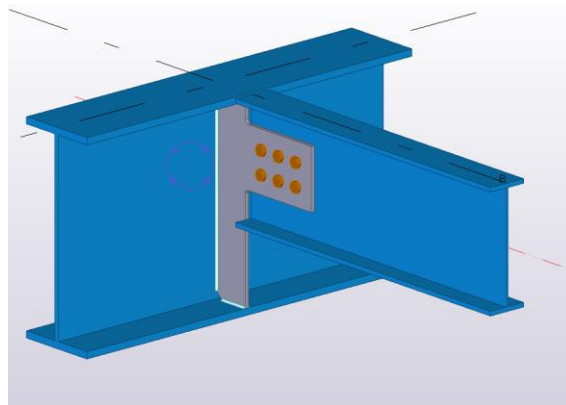
La conexión descrita a continuación corresponde a un tipo Viga-Viga utilizada para unir 2 vigas de forma frontal en la parte media de la estructura, como se muestra en la figura 5, cuenta con 2 placas de 16 mm soldadas a las vigas y conectadas entre sí con 8 tornillos de una pulgada de diámetro. Además de contar con rigidizadores de 12 mm soldadas a las vigas y placas en la parte superior e inferior de las vigas.



**Figura 5.** *Conexión de viga central [CON02]*  
Fuente. Elaboración propia

## 5.3 Conexión de viga [CON03]

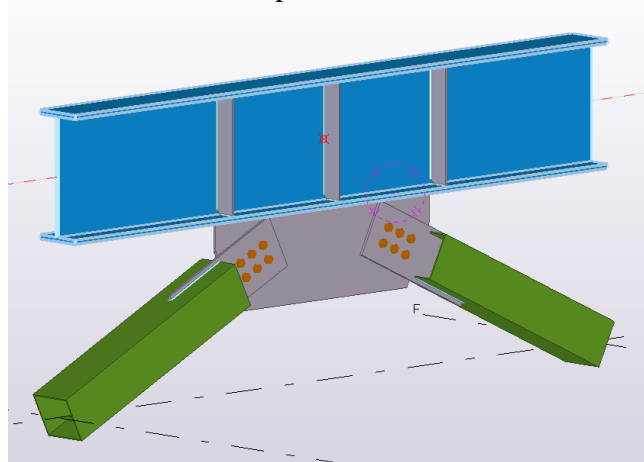
Conexión tipo Viga-Viga utilizada para conectar una viga de perfil W21X68 a la parte central de otra viga de perfil W12X22. Cuenta con una placa conectada a soldadura al alma del primer perfil y con 6 tornillos de 5/8 pulgadas de diámetro, conectados al alma del segundo, como se ilustra en la figura 6.



**Figura 6.** *Conexión Tipo Viga-Viga [CON03]*  
Fuente. Elaboración propia

#### **5.4 Conexión de viga con perfiles tubulares [CON04]**

Conexión de viga que se ilustra en la figura 7, conecta un perfil W21X68 a dos perfiles tubulares PC200X200X5, cuenta con 6 rigidizadores soldados a ambos lados del alma de la viga. Además, en el ala inferior de la viga hay soldada una placa de espesor 12 mm que, a su vez, está atornillada a 2 placas con 6 tornillos de una pulgada de diámetro. Cada una de las placas está soldada a un perfil tubular.



**Figura 7.** Conexión de viga con perfiles tubulares [CON04]  
*Fuente. Elaboración propia*

#### **5.5 Modelado de las conexiones**

Se modelan las conexiones haciendo uso de las herramientas disponibles en Tekla Structures, entre estas se encuentran las macros o componentes, que permiten el modelado paramétrico de este tipo de objetos. En algunos casos, las componentes no entregan la totalidad de las opciones de modelado y se hace necesario complementar el proceso a través de las herramientas estándar para modelar que ofrece el programa.

Cuando se hace necesario realizar modificaciones en las uniones que se han modelado es posible emplear los menús paramétricos que poseen las macros, o en su defecto, las modificaciones se pueden realizar de manera manual. Adicionalmente, Tekla ofrece la posibilidad de guardar estas parametrizaciones para que los usuarios las puedan utilizar en otros proyectos o modelos.

#### **5.6 Cargas involucradas en las uniones.**

Para realizar el análisis de cargas sobre las uniones se utilizará el software Idea StatiCa, el cual requiere ingresar valores de carga. Estos valores son provenientes desde el software RAM Elements, en cada unión existe un elemento portante al cual no se le ingresan valores, puesto que Idea asume que este elemento está en equilibrio con respecto al sistema entero. Es por esto que a los elementos que se le ingresan valores de cargas serán a los que están unidos a los elementos portantes. Para realizar el análisis más claro se tabulan las solicitaciones de carga como se muestra en la tabla 1.

CÓDIGO DE UNIÓN	ELEMENTO	N[kN]	Vy[kN]	Vz[kN]	Mx[kNm]	My[kNm]	Mz[kNm]
[CON01]	1	30,62	-	28,12	-	-85,25	-
[CON02]	1	23,73	-	1,94	-	46,30	-
[CON03]	1	123,8	-	-	-	-	-
[CON04]	1	390,33	-	-	-	-	-
	2	-390,06	-	-	-	-	-

**Tabla 1.** *Tabla resumen de cargas*  
 Fuente elaboración propia

## 6. ANALISIS DE INTEROPERABILIDAD.

Según el EUROPEAN INTEROPERABILITY FRAMEWORK FOR PAN-EUROPEAN e-GOVERNMENT SERVICES vol. 1 (2004), se define la interoperabilidad como la habilidad de los sistemas de tecnologías de la comunicación (TIC) y los procesos de negocio que los respaldan para intercambiar datos y facilitar el intercambio de información, formación y conocimiento. Siguiendo esta propuesta de flujo de trabajo, la interoperabilidad entre programas, además de ser un requisito para la consideración como software BIM, resulta esencial para ejecutar el modelo de trabajo sugerido, ya que el intercambio rápido y preciso de información entre ambos programas es necesario para llevar a cabo las tareas propuestas de manera óptima.

Para realizar el análisis de cada una de las conexiones se tomará como base el marco descrito además de las 2 conexiones adicionales y se realizarán modificaciones, que en un caso real serian solicitudes del cliente o requerimientos de diseño, para cada una de las uniones y serán descritos en la tabla 2.

CÓDIGO DE UNIÓN	SOLICITUDES/MODIFICACIONES/CAMBIOS
[CON01]	Eliminar la primera fila de tornillos en la parte superior
	Eliminar la primera fila de tornillos en la parte inferior
	Ensachar el rigidizador 2 mm
[CON02]	Cambiar el diámetro de tornillos de una pulgada a $\frac{3}{4}$ de pulgada
	Cambiar la orientación de los tornillos de la placa
[CON03]	Cambiar el corte de la placa a uno de 40 mm
[CON04]	Eliminar el rigidizador central en ambos lados de la viga principal

**Tabla 2.** *Tabla resumen de conexiones a analizar*  
 Elaboración propia

El ejemplo busca representar una muestra de las modificaciones típicas que se producen a lo largo del proceso de diseño de un proyecto. Se toma como espacio muestral 4 conexiones, haciendo énfasis en los procedimientos y la metodología que después puede extrapolarse a los distintos tipos de uniones que maneja la empresa Solving Soluciones de Ingeniería Ltda. Constatados los cambios que se requiere realizar a cada conexión, se procede a realizar las modificaciones a cada una de éstas. Es necesario aclarar que las modificaciones se realizan sobre la misma unión ya modelada, para luego de realizados, poder sincronizar dicha unión y poder exportarla rápidamente al software de diseño o verificación. Es aquí donde se consigue la máxima eficiencia asociada con la interoperabilidad entre el programa de detallado con el programa de cálculo.

Si bien se trata de dos programas con diferentes funciones, códigos y plataformas, se fundamenta el aprovechamiento de la interoperabilidad, basado en la posibilidad de integrar datos que pueden ir de un software a otro y en la practicidad de poder observar los requerimientos de cambio para poder, de forma inmediata, aplicar las modificaciones necesarias. Este punto es clave, ya que la verificación entre programas distintos y los datos que involucran es uno de los espacios más relevantes en los que se puede producir pérdida o confusión con la veracidad de la información.

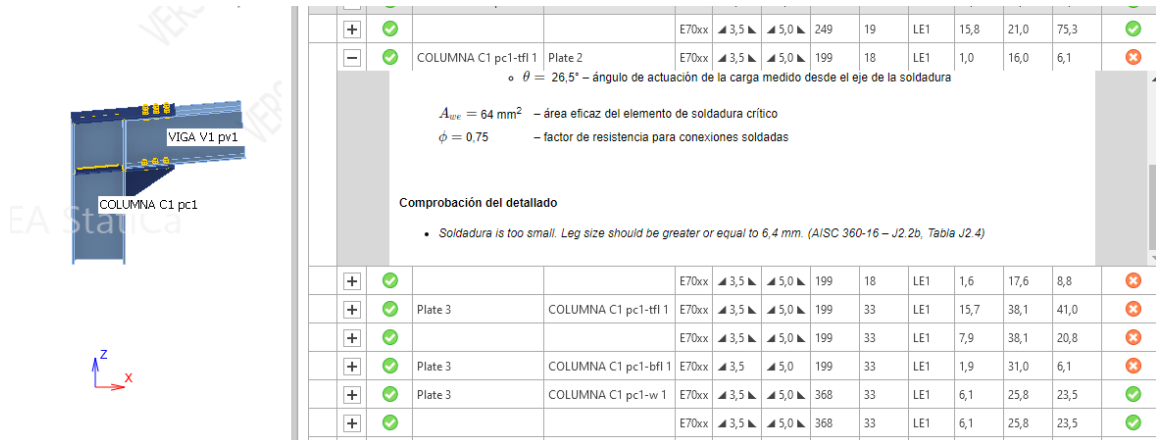
### **6.1 Análisis de interoperabilidad en Conexión de hombro [CON01]**

Una vez realizados los cambios sobre la CON01, se importa a Idea StatiCa como muestra la figura 8 y se verifica si la conexión cumple con las solicitaciones de carga una vez ingresado todos los valores y ejecutado el cálculo del programa, se entrega un informe detallado y proporciona posibles soluciones si es que la unión no cumpliera con las solicitaciones.



**Figura 8.** Conexión 1 ya importada a Idea con las características de diseño solicitadas  
*Fuente: Elaboración propia.*

En el ejemplo tomado, como muestra la figura 9, en la conexión de hombro en la presente investigación, se detecta una falla por soldadura en la placa inferior soldada a la viga, y de la placa soldada al tope de la columna. Esto es indicado por Idea StatiCa, donde se informa que no se cumple por las especificaciones. Se propone el aumento del ancho de cada una de las soldaduras con falla a 6.4 mm de acuerdo con el programa; para efecto de detallado, se indicará una soldadura con un valor redondeado de 7 u 8 mm.



**Figura 9.** Conexión 1 verificada con problemas en las soldaduras detectados.  
 Fuente: Elaboración propia.

Una vez se ha verificado que la conexión cumple con todos los requisitos, se le realiza el ensanchamiento de la soldadura a un valor por encima del mínimo recomendado, obteniendo el resultado final de la conexión.

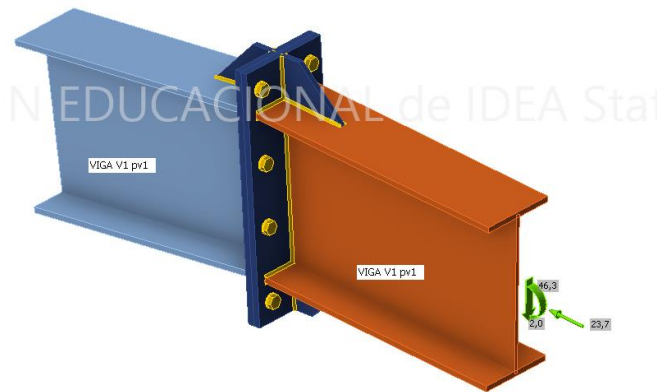
Por último, se chequea que todos los datos de la conexión sean correctos y se establece como conexión válida, luego se presenta en un visualizador realista como muestra la figura 10.



**Figura 10.** Conexión 1 verificada y presentada en visualizador de TEKLA.  
 Fuente: Elaboración propia.

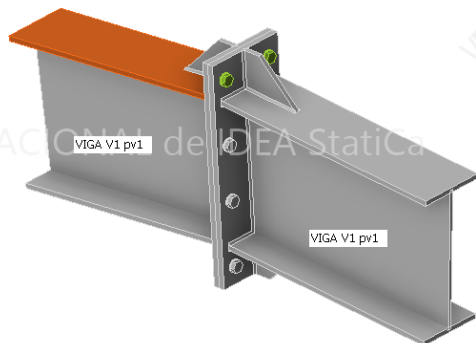
## 6.2 Análisis de interoperabilidad en Conexión de viga central [CON02]

Después de llevar a cabo las modificaciones en la conexión, se importa a Idea StatiCa como muestra la figura 11 y se somete a la unión, denominada CON02, a una evaluación para asegurar su conformidad con las cargas establecidas.



**Figura 11.** Conexión 2 ya importada a Idea con las características de diseño solicitadas  
 Fuente: Elaboración propia.

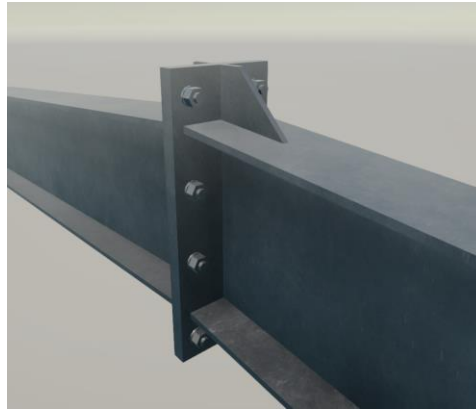
En el contexto específico de la CON02, destinada a la conexión de vigas centrales, como muestra la figura 12, se identifica una deficiencia en la soldadura de las placas centrales unidas a la viga. Idea StatiCa señala esta imperfección, indicando que no se ajusta a las especificaciones requeridas. Se sugiere incrementar el ancho de las soldaduras afectadas a 6.4 mm, de acuerdo con las recomendaciones del programa. Para el detallado correspondiente, se especificará una soldadura con un valor redondeado de 7 mm.



	✓	Plate 5	VIGA V1 pv1-bf1 1	E70xx	3,5	5,0	180	30	LE1	10,9	33,3	32,9	✗
$\theta = 68,0^\circ$ – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura $A_{w,cr} = 106 \text{ mm}^2$ – área eficaz del elemento de soldadura crítico $\phi = 0,75$ – factor de resistencia para conexiones soldadas													
Comprobación del detallado • Soldadura is too small. Leg size should be greater or equal to 6,4 mm. (AISC 360-16 – J2.2b, Tabla J2.4)													
+	✓			E70xx	3,5	5,0	180	30	LE1	17,4	32,1	54,2	✗
+	✓	Plate 5	VIGA V1 pv1-tf1 1	E70xx	3,5	5,0	180	30	LE1	8,2	33,6	24,5	✗
+	✓			E70xx	3,5	5,0	180	30	LE1	8,0	33,8	23,8	✗
+	✓	Plate 6	VIGA V1 pv1-bf1 1	E70xx	3,5	5,0	180	30	LE1	11,0	33,3	32,9	✗
+	✓			E70xx	3,5	5,0	180	30	LE1	17,4	32,1	54,2	✗
+	✓	Plate 6	VIGA V1 pv1-tf1 1	E70xx	3,5	5,0	180	30	LE1	8,2	33,6	24,5	✗
+	✓			E70xx	3,5	5,0	180	30	LE1	8,0	33,8	23,8	✗
+	✓	Plate 5	Plate 2	E70xx	3,5	5,0	100	8	LE1	2,4	8,8	27,6	✓
+	✓			E70xx	3,5	5,0	100	8	LE1	2,5	8,8	28,0	✓

**Figura 12.** Conexión 2 verificada con problemas en las soldaduras detectados.  
 Fuente: Elaboración propia.

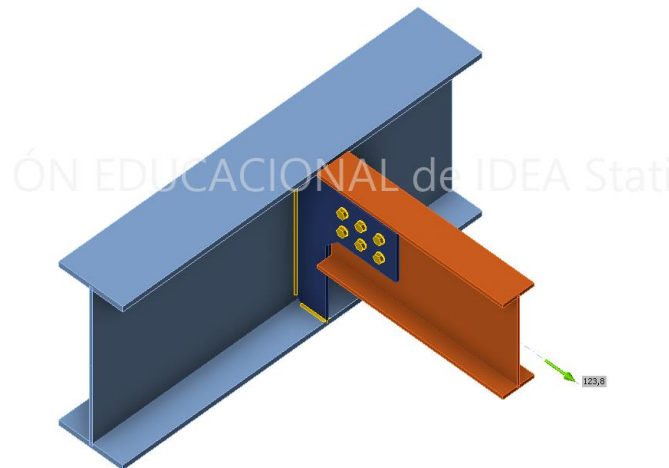
Una vez confirmada la conformidad de la conexión con todos los requisitos, se procede a ampliar la dimensión de la soldadura a un valor superior al mínimo recomendado, obteniendo así el resultado final de la CON02. En la fase final, se lleva a cabo una revisión meticulosa de todos los datos de la conexión para asegurar su corrección y establecer su validez. Una vez realizada la última revisión se presenta la conexión en el visualizador de Tekla como muestra la figura 13.



**Figura 13.** Conexión 2 verificada y presentada en visualizador de TEKLA.  
Fuente: Elaboración propia.

### **6.3 Análisis de interoperabilidad en Conexión de viga [CON03]**

Ya que a la unión CON03 se le realizaron cambios en el programa de modelado respecto al diseño original, es necesario realizar la verificación en el software de diseño de conexiones, para esto se importa la conexión hacia Idea StatiCa como muestra la figura 14. Una vez ingresados los valores de carga sobre la unión se realiza el cálculo de ésta para poder verificarla.



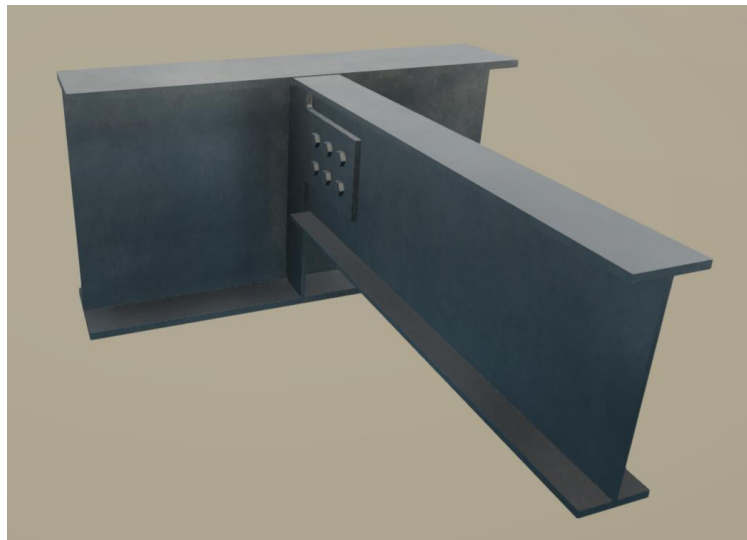
**Figura 14.** Conexión 3 ya importada a Idea con las características de diseño solicitadas  
Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la conexión 3, que se enfoca en conexiones de viga-viga, con unión en el alma, se identifica una deficiencia en la placa unida a ambas vigas. Idea StatiCa señala esta imperfección, indicando que no se ajusta a las especificaciones requeridas. A diferencia de las conexiones anteriores, como se observa en la figura 15, solo indica que la deficiencia está en la placa de unión, pero no entrega una solución, esto es porque existen muchas posibles soluciones ante este problema. En este caso en particular, se ha optado por aumentar el ancho de la placa en 2 mm y verificar con este cambio.



**Figura 15.** Conexión 3 verificada con problemas la palca de unión detectado.  
 Fuente: Elaboración propia.

Puesto que la unión fue verificada exitosamente, se aumenta el ancho de la placa en 2 mm. Como resultado se obtiene que los cambios de la conexión CON03 fueron exitosos para la carga definida con anterioridad. Para finalizar el proceso de esta conexión se procede a realizar una última revisión para verificar que los cambios fueron ingresados y se presenta en el visualizador realista de Tekla, como se observa en la figura 16.



**Figura 16.** Conexión 3 verificada y presentada en visualizador de TEKLA.  
 Fuente: Elaboración propia.

#### **6.4 Análisis de interoperabilidad en conexión de viga con perfiles tubulares [CON04]**

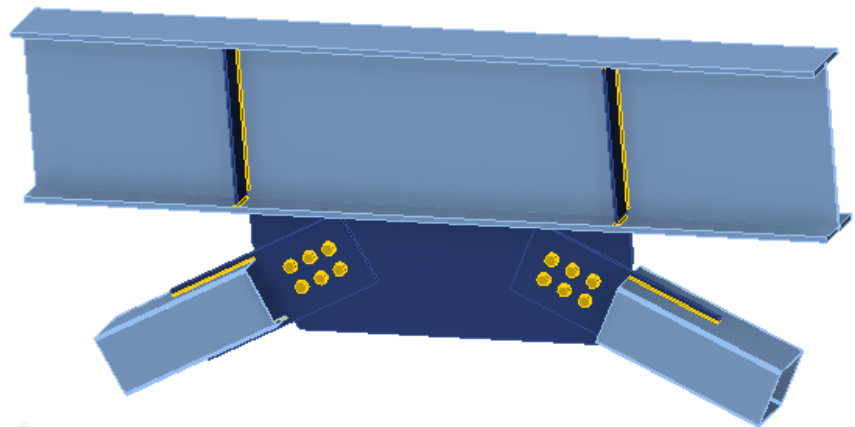
Considerando que la unidad CON04 ha sufrido modificaciones respecto al diseño original, es necesario realizar la verificación mediante Idea StatiCa, para esto se importa desde Tekla como muestra la figura 17. Una vez introducidos los datos de carga en la unión, se realizará el cálculo correspondiente para verificarlo.



**Figura 17.** Conexión 4 ya importada a Idea con las características de diseño solicitadas  
 Fuente: Elaboración propia.

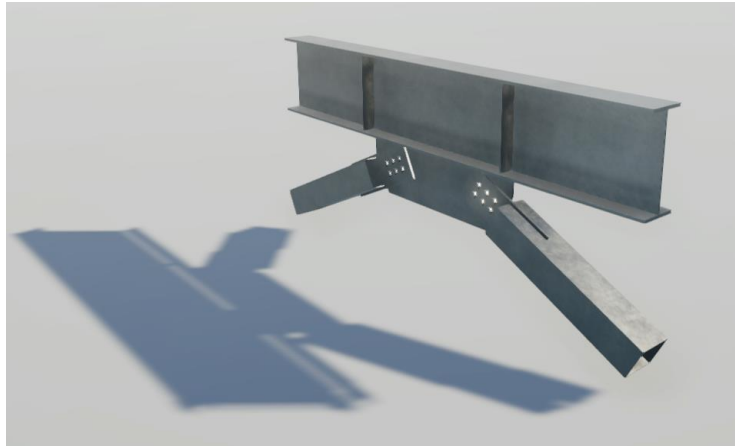
En el caso de la conexión 4, que se enfoca en conexiones de viga, hace conexiones tubulares después de la modificación de ésta. Se observa en la figura 18 que la unión sigue cumpliendo con las bases normativas, en este caso no es necesario realizar ningún cambio, ya sea en Idea StatiCa o Tekla.

Análisis	✓	100,0%
Placas	✓	0,2 < 5,0%
Deformación loc.	✓	0,0 < 3%
Tornillos	✓	99,9 < 100%
Soldaduras	✓	80,7 < 100%
Pandeo		3,15



**Figura 18.** Conexión verificada sin problemas la placa de unión detectado.  
 Fuente: Elaboración propia.

Dado que la unión ha sido verificada exitosamente sin requerir ajustes adicionales más allá de lo solicitado, se puede concluir que las modificaciones de la conexión CON04 fueron efectivas para la carga predetermined. Al final del proceso de esta conexión se realizará una revisión para confirmar que los cambios han sido correctamente implementados y se presenta en visualizador del programa de modelado como mse muestra en la figura 19.



**Figura 19.** Conexión verificada y presentada en visualizador de TEKLA.  
*Fuente: Elaboración propia.*

## 7. AMBIENTE COMÚN DE DATOS

Un ambiente común de datos (Common Data Environment) es una herramienta informática, basada en la nube, que permite gestionar de forma estructurada el intercambio de datos y la información del proyecto entre todos los equipos involucrados. En cualquier proyecto de ingeniería, un flujo de trabajo mal definido y una mala gestión de la información pueden poner en riesgo el proyecto. Incorporar un ambiente común de datos permite un correcto intercambio de información entre los distintos actores del proyecto. Por ejemplo, la información asociada con un modelo 3D de estructuras, puede ser compartida a través de un formato estándar hacia los profesionales encargados de la arquitectura, todo esto en la misma plataforma (CDE).

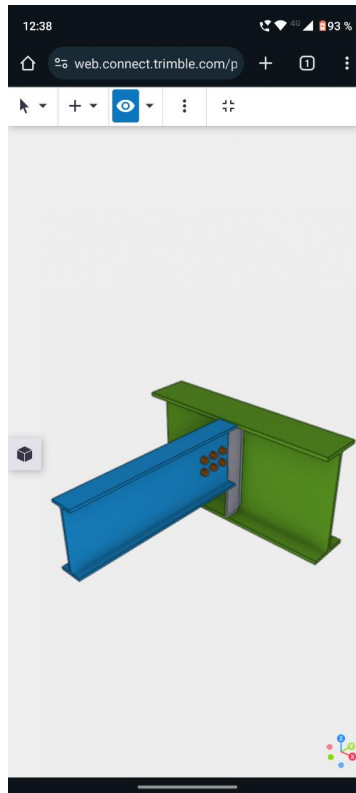
Los beneficios del trabajo colaborativo a través de este tipo de plataformas entregan a los usuarios la posibilidad de compartir eficientemente los datos asociados con un proyecto que, en métodos pasados, se solía hacer a través de un simple correo electrónico. Lo anterior representa, en muchas oportunidades, posibles pérdidas de información e inconvenientes con el versionado de archivos. En repetidas ocasiones se llega a trabajar con una versión antigua sólo porque no se vio el correo correcto. Un CDE ofrece la posibilidad de centralizar todos los datos y conectar a las personas correctas en el momento correcto y, sobre todo, con los datos correctos.

Aplicando la metodología de trabajo colaborativo basada en el uso de un ambiente común de datos en la presente investigación, es posible compartir información clave a través de una herramienta como esta y manteniendo un registro e historial correcto de la misma. En un ejemplo de esto, un modelo Tekla detallado puede ser subido íntegramente a la nube, tomado desde allí por un ingeniero calculista, para luego realizar las comprobaciones que se muestran en el capítulo 6 de esta investigación. Luego de las comprobaciones, se puede actualizar el modelo y llevar de nuevo al CDE para que esté disponible para cualquier otro uso.

Adicional a esto, es posible publicar un modelo IFC de la estructura terminada y comprobada, esta información puede ser fácilmente revisada y visualizada por miembros del proyecto que no necesitan tener acceso directo ni al programa de modelado ni al de cálculo de conexiones.

Para este ejemplo, se ha seleccionado el uso de la plataforma Trimble Connect, la que permite compartir modelos 3D de manera sencilla a través de un visualizador web que se pueden ver en cualquier dispositivo móvil como

se observa en la figura 20. De esta manera es posible entregar la posibilidad de visualizar datos específicos sin necesidad de tener un programa especial. Visualizar es solo una de las características, un CDE ofrece un ecosistema de información donde todos los datos están centralizados y al alcance de los involucrados.



**Figura 20.** Imagen en dispositivo móvil de una conexión, modelo 3d compartido vía Trimble Connect.  
Fuente: Elaboración propia.

## 8. CONCLUSIONES

Se ha hecho una selección de conexiones tipo usadas por la empresa que ha colaborado con la información utilizada en la presente investigación, así como de un pórtico tipo, esto con la finalidad de utilizar un espacio muestral más reducido que permite evaluar la metodología de intercambio de información. A partir de los 4 tipos de conexiones seleccionadas, junto con un pórtico, se ha conseguido evaluar el método de transferencia y revisión de datos entre los dos programas involucrados en el estudio. Los flujos de trabajo se pueden extrapolar a los diferentes tipos de uniones que pueda utilizar una oficina de ingeniería, así como a los distintos tipos de estructuras.

Haciendo uso de los softwares que se han seleccionado, se ha conseguido el modelamiento en detalle de las conexiones, haciendo uso de la combinación disponible en Tekla Structures de modelado a través de macros parametrizables y modelado manual, entregando información precisa de tipo geométrica y volumétrica. De igual forma, en el programa Idea StatiCa, se han realizado ajustes menores del modelo de las conexiones, aunque en su mayoría ha sido aprovechada toda la información que proviene desde el visualizado asociado con Idea

StatiCa (Checkbot), que se mantiene en tiempo real conectado con el modelo que se ha elaborado en Tekla. En función de lo anterior, se ha conseguido evaluar a nivel de cálculo las uniones para posteriormente tomar acciones correctivas directamente basadas en la observación y datos entregados por el programa de cálculo sobre los elementos que se encuentran en el programa de modelado.

Se ha conseguido que la información proveniente desde el programa de modelado viaje hacia una aplicación intermedia que funciona con el programa de cálculo para, posteriormente y de manera rápida, generar un archivo compatible que ingresa en Idea StatiCa y puede ser revisado con parámetros de este software.

Finalmente, se integró un ambiente común de datos (CDE), haciendo posible, además del intercambio de distintos documentos de ingeniería de manera rápida eficiente y segura, la publicación de modelos IFC que se pueden revisar o verificar en cualquier dispositivo con conexión a internet sin un tercer programa. Gracias a esto, la incorporación de CDE no sólo mejora la velocidad y eficiencia del intercambio de información, sino que también aumenta la accesibilidad y la flexibilidad en la revisión y verificación de modelos.

## **9. COMENTARIOS FINALES**

Si bien el flujo de trabajo propuesto es una manera de aportar a los métodos de la empresa Solving Soluciones de Ingeniería Ltda, solo es una opción de empleo de la interoperabilidad, ya que esta propuesta, depende del software que utiliza la oficina de ingeniería o empresa en cuestión. El mayor valor que desprende esta investigación es que cada uno de los programas tienen una gran utilidad, pero al usarlos interconectados se obtiene un rendimiento mucho mayor al que se obtendría utilizándolos de manera singular,

Una vez terminada esta investigación, se abren muchas más posibilidades de investigación en el área de BIM, ya sea adentrarse al Ambiente Común de Datos, a los programas de modelado o a los de diseño, ya que, en la presente tesis, no se analizan a gran profundidad, solo se utilizan para la facilitación del flujo de trabajo propuesto.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Estándar BIM para proyectos públicos - Planbim. (2022, abril 25). Planbim -; Planbim. <https://planbim.cl/documentos/estandar-bim-para-proyectos-publicos/>
- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica. 6ta. Edición. FIDIAS G. ARIAS ODÓN.
- corporate-body.COM: European Commission. (2004). European interoperability framework for pan-European e-government services: Version 1.0. Publications Office of the European Union. (p. 5)
- Primer Reporte 2016-2021 - Observatorio BIM Inclusión de BIM en La Educación Superior. (s/f) (p. 11). Scribd. Recuperado el 7 de enero de 2024, de <https://es.scribd.com/document/609846885/Primer-Reporte-2016-2021-Observatorio-BIM-Inclusion-de-BIM-en-La-Educacion-Superior>
- Succar, Bilal & Sher, Willy & Aranda-Mena, Guillermo & Williams, Anthony. (2007). A Proposed Framework to Investigate Building Information Modelling Through Knowledge Elicitation and Visual Models.
- Wong, Andy & Wong, Francis & Nadeem, Abid. (2010). Attributes of Building Information Modelling Implementations in Various Countries. Architectural Engineering and Design Management. 6. 288-302. 10.3763/aedm.2010.IDDS6.
- Massafra, Angelo & Gulli, Riccardo. (2023). Enabling Bidirectional Interoperability between BIM and BPS through Lightweight Topological Models. 10.52842/conf.ecaade.2023.2.187.
- Ahmed, Yunis & Shezad, Afiz & Khurshid, Muhammad Mahboob & Husain, Omayma & Abdalla, Sarah & Al Refai, Nashat. (2022). Examining the effect of interoperability factors on building information modeling (BIM) adoption in Malaysia Building information modeling. Construction Innovation. 10.1108/CI-12-2021-0245.
- Preidel, Cornelius & Borrmann, Andre & Mattern, Hannah & König, Markus & Schapke, Sven-Eric. (2018). Common Data Environment. 10.1007/978-3-319-92862-3\_15.