



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Departamento de Obras Civiles

**DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA
MEJORAR LA GESTIÓN Y MONITOREO DEL
ESTADO DE FABRICACIÓN DE ELEMENTOS
QUE CONFORMAN UNA ESTRUCTURA
METÁLICA**

Memoria de Título presentada por

Cristóbal Court Carreño

como requisito parcial para optar al título de la carrera de

Ingeniería Civil

Profesor Guía
Germán Eduardo Matzner Stange

Profesor Correferente
Claudio Ignacio Sepúlveda Contreras

Julio de 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA MEJORAR LA GESTIÓN Y MONITOREO DEL ESTADO DE FABRICACIÓN DE ELEMENTOS QUE CONFORMAN UNA ESTRUCTURA METÁLICA

Nombre del candidato(a): Cristóbal Court Carreño

Carrera / Grado: Ingeniería Civil

Campus: Santiago San Joaquín; **Departamento:** Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Germán Matzner Stange, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 08/09/2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 03/09/2025

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

TITULO DE LA TESIS:

DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA MEJORAR LA GESTIÓN Y MONITOREO DEL ESTADO DE FABRICACIÓN DE ELEMENTOS QUE CONFORMAN UNA ESTRUCTURA METÁLICA

AUTOR:

Cristóbal Court Carreño

TRABAJO DE MEMORIA, presentado como requisito parcial para optar al título de la carrera de INGENIERIA CIVIL de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Nombre

Firma

Prof. Guía

Miembro 1 Comisión

Miembro 2 Comisión

Santiago, Chile, Julio de 2025



“DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA MEJORAR LA GESTIÓN Y MONITOREO DEL ESTADO DE FABRICACIÓN DE ELEMENTOS QUE CONFORMAN UNA ESTRUCTURA METÁLICA”

Cristóbal Court¹, Germán Matzner², Claudio Sepúlveda³

¹Universidad Técnica Federico Santa María

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal desarrollar una aplicación económica y de fácil implementación que permita representar gráficamente el estado de fabricación de los elementos que conforman una estructura metálica. Para ello, se crea una herramienta capaz de modificar el color de cada elemento dentro de un modelo 3D, utilizando como datos de entrada el modelo en formato IFC y los reportes sobre estados de fabricación. El resultado obtenido corresponde al modelo original, pero con cada componente coloreado según su respectivo estado de fabricación. La aplicación facilita el control del proceso constructivo, permitiendo al cliente de maestranza verificar y modificar de ser necesaria la secuencia de fabricación de acuerdo con sus requerimientos específicos. Además, contribuye a una mejor planificación del montaje en terreno, cumpliendo con los estándares BIM definidos por CORFO (2021), particularmente en Planificación y Control de Obra, aportando un Nivel de Información 5. Para evaluar su desempeño, la herramienta se implementó exitosamente en dos casos prácticos: una estructura industrial y el refuerzo de un puente. Los resultados obtenidos demostraron que la eficiencia de la aplicación no se ve afectada por el número de elementos del modelo, ya que asigna correctamente los estados de fabricación y requiere un tiempo breve de ejecución una vez disponibles los archivos de entrada.

Palabras claves: Gestión de la fabricación y montaje, IFC, BIM, desarrollo de software.

1 Introducción

Durante más de cuarenta años, la productividad y calidad de la industria de la construcción se ha quedado atrás frente al sector manufacturero y al de servicios (Al-Yami & Sanni-Anibire, 2019; Chahrour et al., 2020). Esta diferencia resulta evidente al observar que, en las últimas dos décadas, la productividad del rubro de la construcción solo ha crecido un 1% anual, mientras que la manufactura lo ha hecho en torno al 3,6%, a pesar de que en la construcción se concentra cerca del 13% del producto interno bruto (PIB) mundial (Barbosa et al., 2017). Los investigadores frecuentemente coinciden en que la escasa integración de la información durante todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción genera cambios inesperados, menos calidad, retrasos y conflictos en terreno, problemas que podrían prevenirse mediante un adecuado análisis de constructibilidad desde la fase de diseño (Rodríguez José, 2021). Teniendo esto en cuenta, queda claro que es necesario implementar nuevas estrategias que permitan reducir los tiempos de los procesos que tiene la industria de la construcción para así revertir la tendencia actual.

La implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) supone un paso en la buena dirección para afrontar los problemas que tiene la industria de la construcción debido a una incorrecta interoperabilidad de la información (Choclán Felipe et al., 2014). El objetivo de la metodología BIM es facilitar una comunicación efectiva y fluida entre las diversas especialidades involucradas a lo largo de las distintas fases del proyecto mediante el uso de modelos tridimensionales (3D) (Kainz et al., 2023). Un estudio reciente de Das et al. (2025) reveló que adoptar esta metodología reduce los plazos de los proyectos en promedio un 20%, los costos en un 15%, los errores de diseño en un 30% y las solicitudes de información en un 25%. Sin embargo, existen barreras que no permiten la implementación de la metodología BIM. Una de estas es el costo de inversión inicial necesario, dicho costo se destina para la



compra de software y hardware BIM, capacitación al personal existente y/o la contratación de personal experto en esta metodología (Bamgbose et al., 2024).

Es por lo anterior que el presente trabajo tiene como objetivo principal desarrollar una aplicación de bajo costo y sencilla implementación que permita visualizar de manera gráfica en un modelo 3D el estado de fabricación de los elementos que conforman una estructura metálica. Para ello, el estado de fabricación se representará mediante la modificación del color de los elementos, utilizando como datos de entrada reportes de avances proporcionado por el usuario y el modelo 3D correspondiente.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Desarrollar una aplicación computacional económica, de sencilla implementación y adaptada a las necesidades, que permita visualizar de manera gráfica el estado de fabricación de los elementos que conforman una estructura metálica.

2.2 Objetivos Específicos

2.2.1 Objetivo específico 1

Crear una herramienta que permita modificar el color de los elementos que contiene un modelo 3D, este último con extensión IFC, tomando en consideración los reportes de avances y el modelo anteriormente mencionado, ambos proporcionados por la maestranza.

2.2.2 Objetivo específico 2

Desarrollar una aplicación que ofrezca una interfaz intuitiva para el usuario.

3 Marco teórico

Building Information Modeling (BIM) se define como una representación digital de las características físicas y funcionales de un edificio o construcción, creada para servir como fuente fiable de información durante todo el ciclo de vida del proyecto; integra en un entorno compartido los datos geométricos y semánticos de cada elemento, de modo que todos los participantes puedan consultarlos y actualizarlos de forma coordinada (Khattra & Jain, 2024). Gracias a su capacidad para reducir costos, plazos y reprocesos, BIM ha alcanzado una adopción generalizada en la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (Samimpay & Saghatforoush, 2020). Además, organizaciones públicas reportan beneficios adicionales como una mejor comunicación interdisciplina y menor cantidad de errores de diseño (Mohamed et al., 2024). Sin embargo, para lograr esa comunicación interdisciplinaria es necesario de un formato de archivo que permita la transferencia de información, sin pérdidas, entre los distintos programas que utilizan las distintas áreas que se ven involucradas en un proyecto (Gerbino et al., 2021).

Dicha necesidad motivó la creación de un formato que sea neutro, al no depender de un propietario, y que relacione tanto las características geométricas como semánticas de un modelo. Este formato es el denominado Industry Foundation Classes (IFC) y ya cuenta con compatibilidad en más de 150 programas utilizados en la industria de la construcción (Crowder et al., 2024).

Uno de los programas disponibles en el mercado para mejorar la gestión del proceso de fabricación de elementos de acero es StruMIS. Este software cuenta con ocho módulos principales: consultas y presupuestos, inventario y trazabilidad de materiales, análisis QS, gestión de contratos, compras y proveedores, ventas y gestión de clientes, gestión de documentos, y control de producción y codificación de barras (StruMIS, 2025). Este último módulo proporciona la opción de representar gráficamente el



estado de fabricación de los elementos estructurales, entre otras funcionalidades relevantes. Sin embargo, StruMIS al cubrir integralmente todas las etapas del proceso productivo de elementos de acero tiene costos económicos y de tiempo de implementación que limitan su uso para el usuario promedio. Esta problemática fue respaldada por (Bravo, 2017), quien evaluó cinco aspectos críticos del programa: tiempo de implementación, costos de implementación, compatibilidad con software de modelación 3D, soporte para el uso de códigos de barras y capacidad para gestionar todo el proceso productivo. Si bien StruMIS obtuvo la máxima calificación en los aspectos relacionados con la gestión integral del proceso, la compatibilidad con software 3D y el soporte para códigos de barras, mostró pequeñas falencias en el tema de costos y tiempo de implementación, obteniendo en las dos una nota de 60 sobre 100.

3.1 Aristas de investigación

Partiendo de la base que el objetivo principal de este trabajo es desarrollar una aplicación para mejorar el monitoreo del estado de fabricación de los elementos que conforman una estructura metálica, surgen las siguientes aristas de investigación.

1. La aplicación por desarrollar tenga integrado las funciones de un visor 3D, dando todo tipo de herramientas de modificación del modelo al usuario.
2. La aplicación por desarrollar tenga como objetivo minimizar las interacciones y tiempo que se destina a la representación gráfica del estado de fabricación.

Al final se decide trabajar con la opción 2, porque la opción 1 difiere con lo explicado antes sobre los altos costos de capacitar al personal para usar herramientas BIM.

4 Funcionamiento y datos de entrada de la aplicación

La aplicación desarrollada tiene como objetivo principal representar de manera gráfica el estado de fabricación de los elementos que conforman una estructura metálica. Para ello será necesario que el usuario cargue tres archivos: reporte de estados de fabricación y del modelo, además de este último en formato IFC. Adicionalmente, al momento de cargar el reporte con los estados de fabricación aparecerá en pantalla una lista de los estatus que aparecen en dicho reporte, dando la opción de asignarle el color que desee el usuario a cada uno de ellos. Además, el usuario deberá ordenarlos en orden cronológico, del que sucede antes al que sucede después. En la Ilustración 1 se presenta un ejemplo de la interfaz luego de cargarle el reporte de estados de fabricación y del modelo.

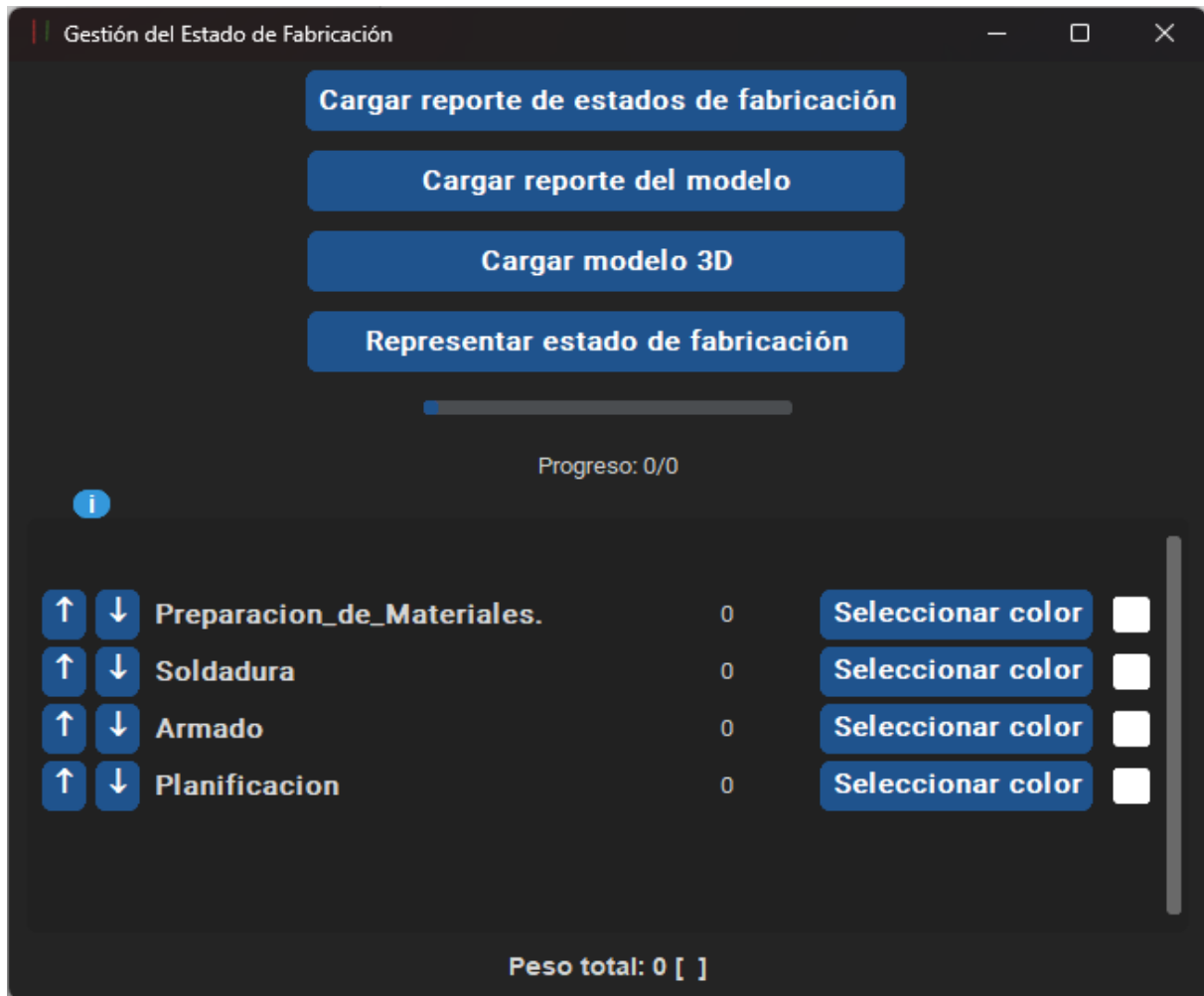


Ilustración 1: Interfaz luego de carga reporte del modelo y de estados de fabricación.

Ya terminado el proceso de los datos de entrada, asignar colores y ordenar los estados de fabricación, basta con apretar el botón de “Representar estado de fabricación” para que el proceso se complete, obteniendo así el modelo IFC original, pero con los elementos coloreados según el estado de fabricación que le asignan los reportes y el color que seleccionó el usuario.

4.1 Datos de entrada

En esta sección se explicará que formato deben tener los archivos de entrada para que sean compatibles con el programa.

4.1.1 Reporte de estados de fabricación

El formato del reporte de estados de fabricación puede ser .csv, .xlsx, .xlsm, .xls o .txt; lo importante es que la columna que contiene el nombre de las marcas de conjunto definidas tenga como título “MARCA”. Así, la columna que contiene los estados de fabricación para cada marca debe tener como título “SHOPSTATUS”, a continuación, en la Tabla 1, se presenta un extracto de ejemplo.

Tabla 1: Ejemplo de formato para el reporte de estados de fabricación.

MARCA	SHOPSTATUS
-------	------------

D1P1-SS07-SP08	Preparación de Materiales.
D1P1-SS07-SP08	Preparación de Materiales.
D1E1-A001-PL116	Soldadura.
D1E1-A001-PL116	Soldadura.

4.1.2 Reporte del modelo 3D

Para el reporte del modelo, es importante que desde el programa de modelado que este ocupando el usuario, genere un reporte con formato .csv, .xlsx, .xlsm, .xls o .txt, con la información de los identificadores globales únicos (GUID), marcas de conjunto y la información de las partes principales y secundarias. Al igual que con el reporte de estados de fabricación, las columnas deben tener título específico, para los GUID esta debe ser “GUID”, marcas de conjunto debe tener “ASSEMBLY_POS” y la de las partes principales debe tener “PARTE PRINCIPAL”, adicionalmente debe existir una columna en blanco titulada “SHOPSTATUS”. La Tabla 2 muestra un ejemplo de lo anterior mencionado.

Tabla 2: Ejemplo de formato para el reporte del modelo.

GUID	ASSEMBLY_POS	PARTE PRINCIPAL	SHOPSTATUS
fcda6d58-6632-408c-8186-c3f1e1259a1a	100-XX031	1	
eea97994-aad7-4865-9a1d-9e037c40dfde	100-XX031	0	
1239243d-c77b-4595-ad16-b409362d8f03	100-XX031	0	
7db23ede-0a94-41a8-a4e5-4d0f0ef126a9	100-XX031	1	
4ecf4bd6-b153-4a4e-8b17-89797ab25ba2	100-XX031	0	
23ebd514-1007-430c-8405-6b657f04a872	100-XX031	0	

Al generar el reporte del modelo, es fundamental considerar cómo se llevará a cabo la construcción de la estructura. En programas como Tekla Structures, esto se puede representar al establecer un punto de origen y definir uno o más sentidos. De este modo, los elementos ubicados más cerca del origen aparecerán primero en el reporte generado, por lo que deberían tener el estado de fabricación más avanzado. Este orden resulta relevante cuando elementos con la misma marca de conjunto presentan distintos estados de fabricación. De este modo, al haber establecido un orden en el reporte del modelo y haber organizado cronológicamente los estados de fabricación en la interfaz, se asegura que cuando existan elementos con la misma marca de conjunto en diferentes etapas de fabricación, se asigne automáticamente el estado más avanzado al elemento que será requerido primero.

4.1.3 Modelo 3D

Respecto al modelo, este debe exportarse en formato IFC, asegurándose de incluir la información correspondiente a los GUID y a los pesos de cada elemento. Cabe señalar que existen dos tipos distintos de identificadores GUID: el GUID(MS) y el GUID(IFC). Aunque ambos mantienen el mismo formato general, se diferencian principalmente en la cantidad de dígitos utilizados para identificar un elemento. Es esencial que el tipo de identificador elegido sea coherente tanto al generar el reporte como al exportar el modelo. A continuación, se presenta un ejemplo de estos identificadores.

Tabla 3: Ejemplo de tipos de GUID

GUID (IFC)	GUID (MS)
0RG82FacfEB8P7l8WjApgH	1b40808f-926a-4e2c-8647-bc882d2b3a91



5 Verificación de la aplicación

Para confirmar que la aplicación desarrollada asigna correctamente los estados de fabricación, se llevarán a cabo dos verificaciones. La primera será de tipo visual, cuya metodología consiste en seleccionar aleatoriamente un elemento del modelo generado, registrar su identificador GUID y verificar el estado de fabricación asignado según el color que presenta dicho elemento. Posteriormente, dicha información se compara con la proporcionada en el reporte de estados de fabricación entregado por el usuario. Debido a que esta primera verificación visual involucra una cantidad pequeña de elementos, y ampliar la muestra significaría un proceso considerablemente lento, se propone realizar una segunda verificación, que con la ayuda de automatizar el proceso sea posible considerar el modelo completo.

La verificación completa se compone de dos procesos independientes. El primero consiste en obtener un listado con todos los identificadores GUID y sus respectivos estados de fabricación a partir de los reportes de estados de fabricación y del modelo, mediante un código desarrollado en Python.

El segundo proceso consiste en generar un listado con los identificadores GUID y sus respectivos estados de fabricación a partir del modelo 3D generado por la aplicación, el que tiene representado gráficamente dichos estados. Esta tarea también se realiza mediante un código adicional desarrollado en Python. El último paso es verificar con las funciones que ofrece Excel si la información de las dos tablas es la misma, logrando así llegar a una verificación precisa.

6 Caso de estudio, resultados y verificación de la aplicación

En esta sección se pondrá a prueba la aplicación creada con dos casos de estudio, dichos casos varían en el tipo de estructura, pero lo más importante, en su cantidad de elementos. El objetivo es corroborar que el programa no falla al momento de someterlo a una cantidad de elementos considerables y que asigna de manera correcta el estado de fabricación a los elementos. Esto último se verificará con los métodos descritos en la Sección 5.

6.1 Caso de estudio 1

Como primer caso de prueba se seleccionó una estructura industrial formada por aproximadamente veintiún mil elementos. El modelo inicial que se cargó a la aplicación se muestra en la Ilustración 2.

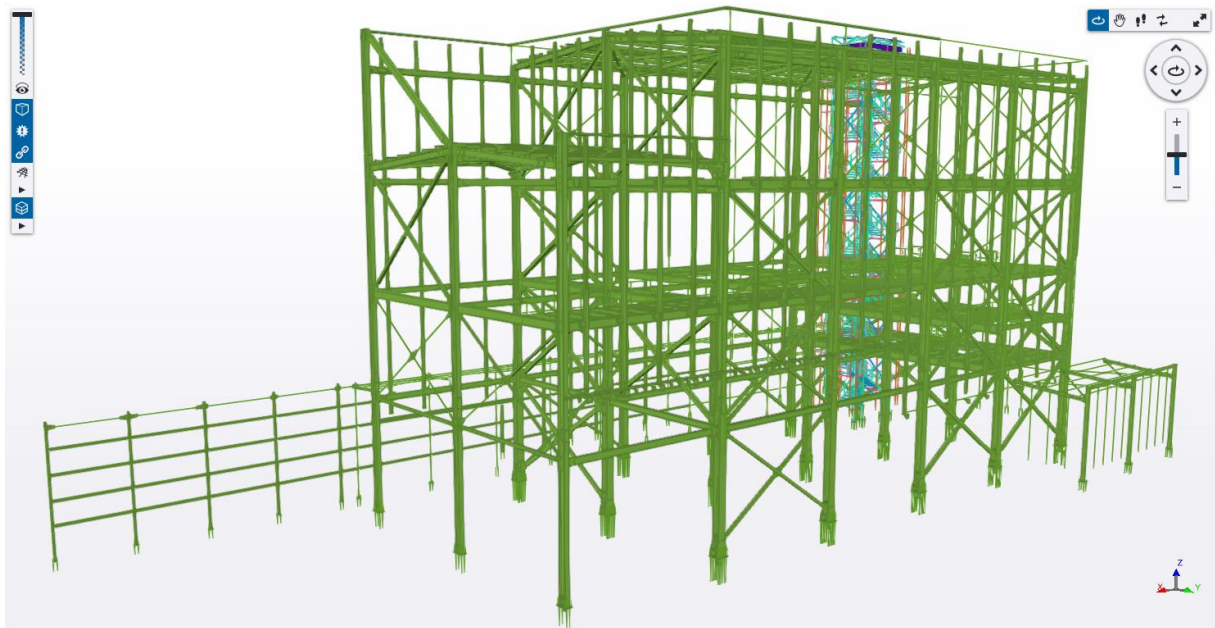


Ilustración 2: Modelo de entrada caso de estudio 1.

Una vez que se cuenta con el reporte de estado de fabricación y el del modelo en el formato necesario, además del modelo 3D en formato IFC, se ejecuta la aplicación utilizando estos archivos. En la Ilustración 3 se presenta la interfaz de usuario luego de completar el proceso de representar gráficamente el estado de fabricación de los elementos.



Ilustración 3: Interfaz al finalizar la ejecución de la aplicación.

Como se observa en la Ilustración 3, la interfaz muestra en la parte inferior el peso total de la estructura, un listado de los estados de fabricación considerados, junto con el peso de material y el color asociado a cada uno.

En la siguiente imagen, Ilustración 4, se presenta la visualización del modelo que entregó la aplicación luego de terminado el proceso de asignar los estados de fabricación.

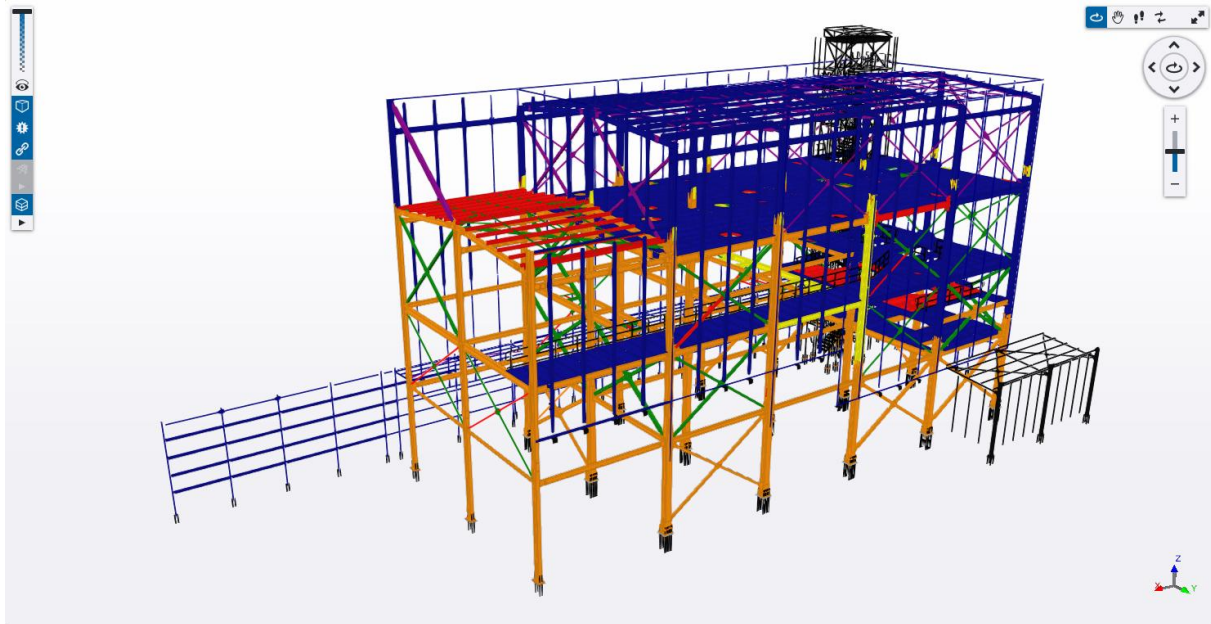


Ilustración 4: Visualización del modelo generado por la aplicación.

Como se muestra en la Ilustración 4, el modelo 3D mantiene la misma geometría que el original, pero ahora incorpora los colores asignados a los elementos según la selección realizada por el usuario en la interfaz, ver Ilustración 3.

6.1.1 Verificación visual

En esta sección se presentan los resultados obtenidos tras realizar la verificación visual descrita en la Sección 5.

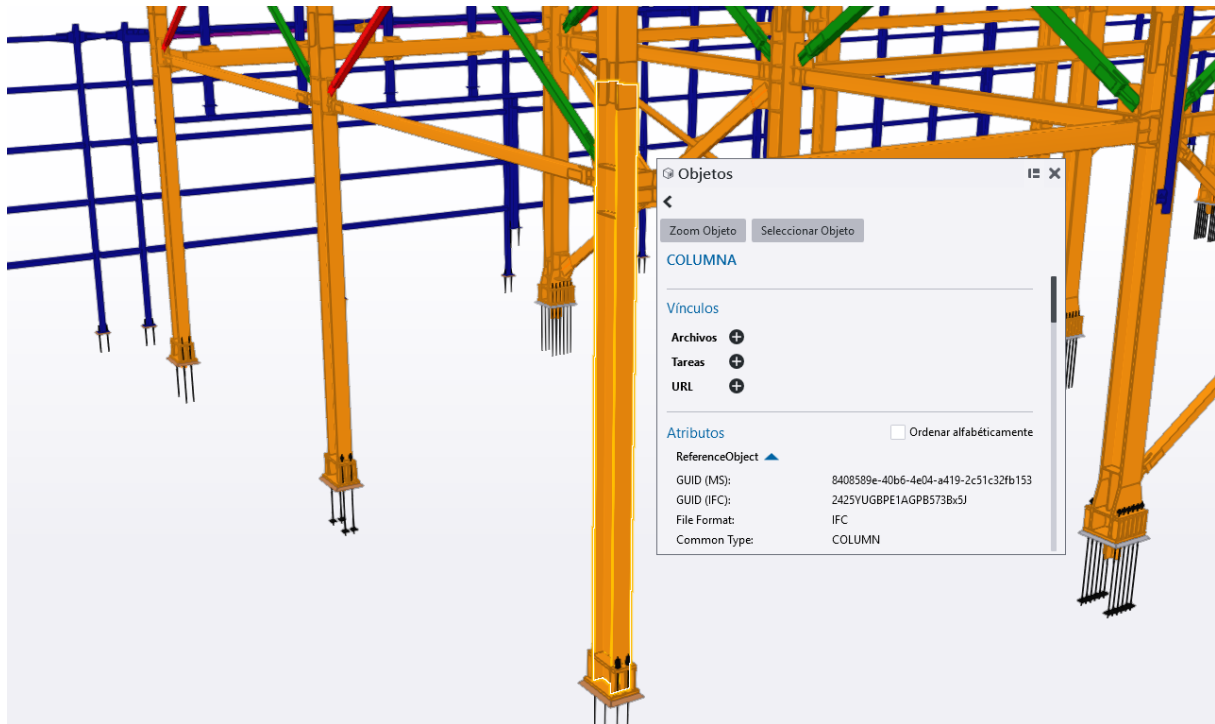


Ilustración 5: Visualización e información del elemento a verificar.

Tabla 4: Estado de fabricación del elemento a verificar según reporte de estados de fabricación.

MARCA	SHOPSTATUS
100-CX016	Despachado a obra

Tabla 5: Información del elemento a verificar según reporte del modelo.

GUID	ASSEMBLY_POS	PARTE PRINCIPAL	SHOPSTATUS
8408589e-40b6-4e04-a419-2c51c32fb153	100-CX016	1	

Al asociar la información que entrega la Tabla 4 y la Tabla 5 se obtiene que el elemento en estudio está en fase de “Despachado a obra” según los reportes que entregó el usuario. Por otro lado, en la Ilustración 5 se ve que el elemento en análisis es de color naranja, dicho color según la interfaz, ver Ilustración 3, corresponde a “Despachado_a_obra”, obteniendo así una congruencia en la información.

6.1.2 Verificación completa

Realizado el proceso descrito en la Sección 5 de este documento correspondiente a la verificación completa se obtiene la siguiente tabla resumen de los resultados.

Tabla 6: Resultados obtenido de la verificación completa.

Nº Elementos	Nº coincidencias	Porcentaje de acierto
21397	21397	100%

Como se puede observar en la Tabla 6, luego de analizar las tablas de GUID y sus respectivos estados de fabricación según dos fuentes de información distinta, se llegó a que el número de coincidencias (veces en las que la información fue la misma, sin repetirse), es igual al número de elementos totales que tiene la estructura, dando así un porcentaje de acierto del 100%.

6.2 Caso de estudio 2

El modelo analizado en esta sección consiste en un refuerzo de un puente que contiene aproximadamente seis mil seiscientas piezas. A continuación, se presenta la visualización de este.

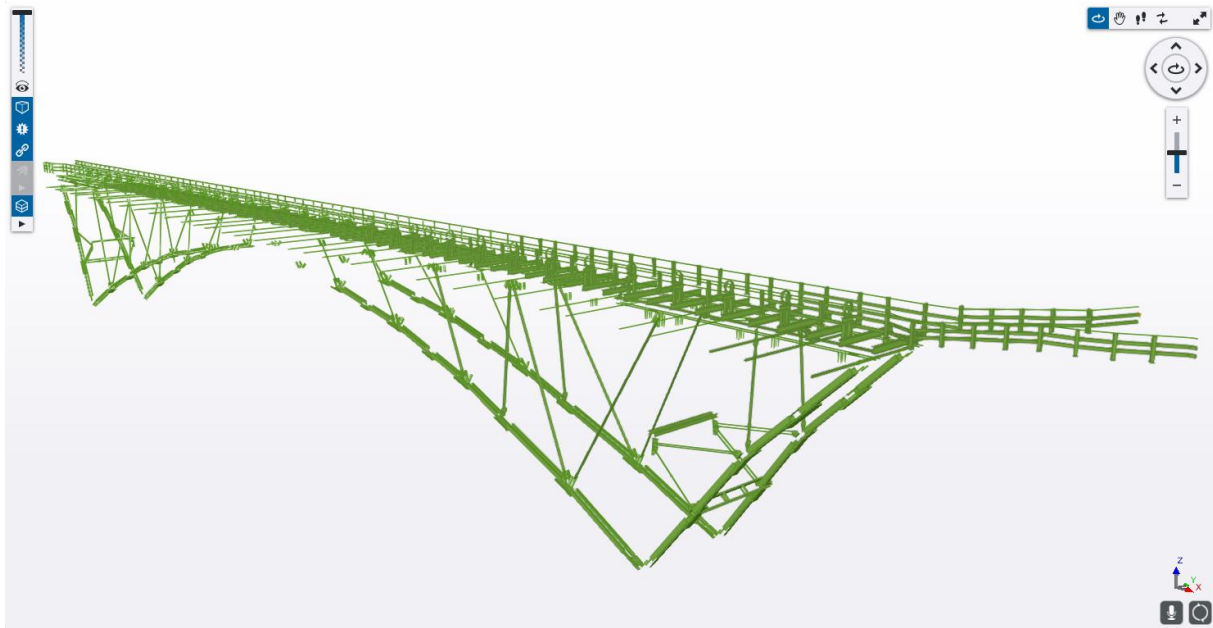


Ilustración 6: Modelo de entrada caso de estudio 2.

Teniendo la información de reportes de avance y del modelo, además del modelo de la Ilustración 6 en formato IFC, se procede a ejecutar la aplicación. La Ilustración 7 muestra la interfaz de usuario luego de representar el estado de fabricación de los elementos en el modelo.

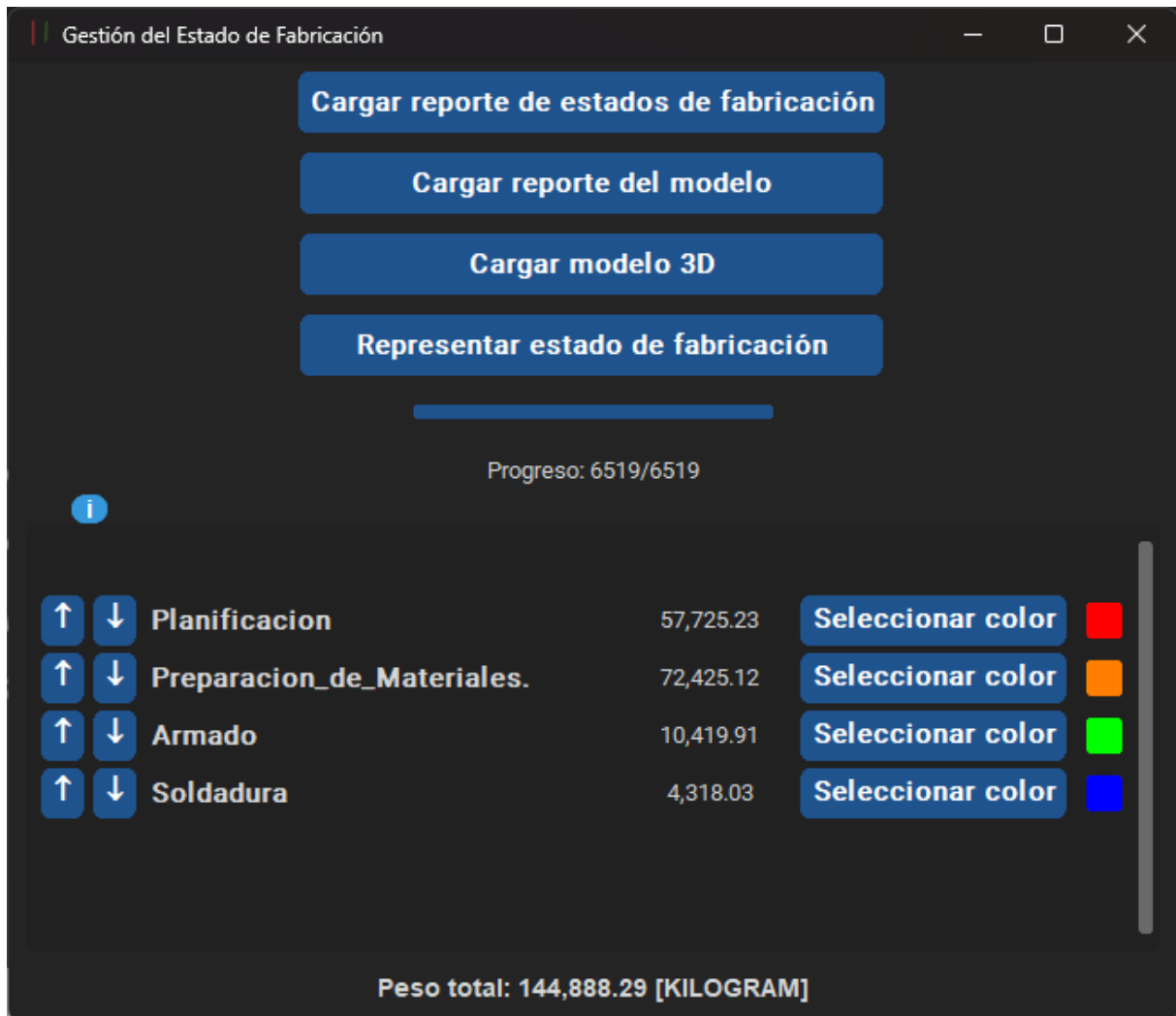


Ilustración 7: Interfaz al finalizar la ejecución de la aplicación.

Como se observa en la Ilustración 7, la interfaz muestra la información del peso total de la estructura, estados de fabricación junto con su peso asociado y color asignado por el usuario.

En la siguiente imagen, Ilustración 8, se muestra la visualización del modelo que se obtuvo luego de ejecutada la aplicación.

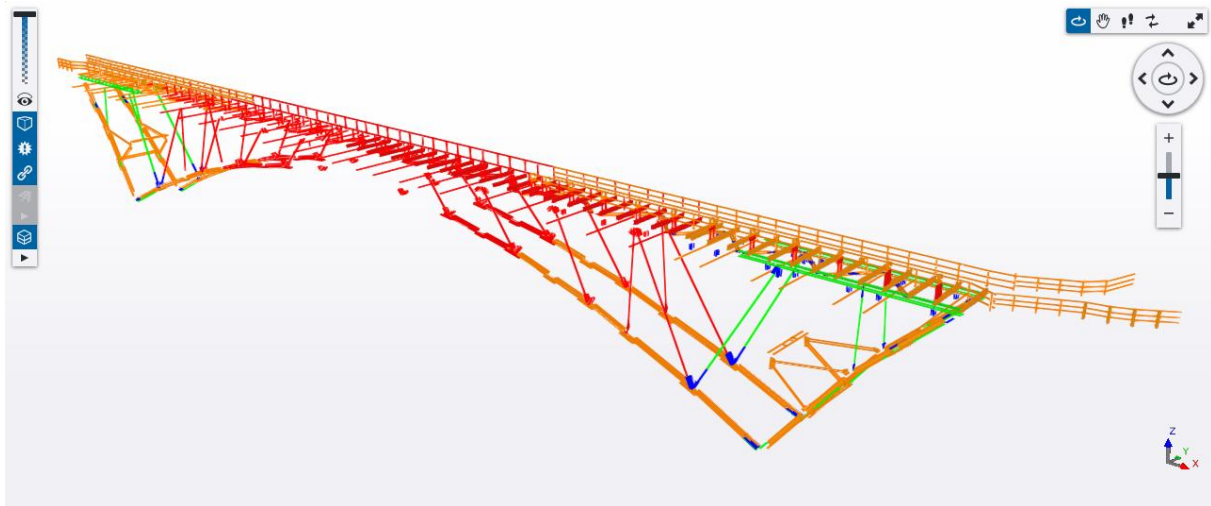


Ilustración 8: Visualización del modelo generado por la aplicación.

Como se puede ver en la Ilustración 8, el modelo generado es idéntico, respecto a geometría, con el de la Ilustración 6, pero representando gráficamente el estado de fabricación de cada elemento según los colores que asignó el usuario, los cuales se pueden ver en la Ilustración 7.

6.2.1 Verificación visual

En esta sección se presentan los resultados obtenidos tras realizar la verificación visual descrita en la Sección 5 de este documento.



Ilustración 9: Visualización e información del elemento a verificar.

Tabla 7: Estado de fabricación del segundo elemento según reporte de estatus.

MARCA	SHOPSTATUS
D1E3-D016-PL362	Planificación

Tabla 8: Información del segundo elemento según reporte del modelo.

GUID	ASSEMBLY_POS	PARTE PRINCIPAL	SHOPSTATUS
ddf5c713-4c1d-4023-8599-2c0fabf3bca5	D1E3-D016-PL362	1	

Según la información que entrega la Tabla 7 y la Tabla 8, el elemento en análisis está en la fase de ingeniería de planificación. Por otro lado, en la Ilustración 9 se puede ver que el elemento en análisis es de color rojo, el cual corresponde a “planificación” según la Ilustración 7. Dado que la información que entrega el programa desarrollado y los reportes es la misma para este elemento, la aplicación aprueba esta primera verificación.



6.2.2 Verificación completa

Realizado el proceso descrito en la sección 5 de este documento correspondiente a la verificación completa se obtiene la siguiente tabla resumen de los resultados.

Tabla 9: Resultados obtenido de la verificación completa.

Nº Elementos	Nº coincidencias	Porcentaje de acierto
6519	6519	100%

Según el resultado obtenido luego de realizar la verificación completa al segundo caso de estudio, ver Tabla 9, se verifica que la aplicación asignó correctamente a todos los elementos del modelo el estado de fabricación correspondiente.

7 Aplicaciones de la herramienta

Como se ha visto en la sección anterior de este documento, la aplicación desarrollada cumple de forma precisa el representar de manera gráfica el estado de fabricación de los elementos que conforman una estructura metálica. Considerando lo anterior, en esta sección se describirán los ámbitos donde se puede desempeñar esta herramienta.

7.1 Control en la fabricación de los elementos

Normalmente, el contrato entre la maestría y el cliente estipula un volumen mensual de producción sin considerar la necesidad que tiene este último de disponer de unos elementos antes que otros. Además, los informes de avance proporcionados por la maestría suelen resultar poco prácticos y confusos al momento de querer analizarlos, véase un ejemplo de estos en la Ilustración B.1 del Anexo B, lo que dificulta la toma de decisiones del cliente. Con la aplicación desarrollada, el cliente podrá comprobar de forma sencilla si la secuencia de fabricación seguida por la maestría se ajusta a sus requerimientos y, de ser necesario, modificarla para agilizar los procesos posteriores a la fabricación de los elementos, como el montaje de estos. Además de comprobar si la secuencia seguida es la correcta, el cliente podrá verificar si la maestría está considerando la totalidad de elementos que contiene el modelo.

7.2 Apoyo al montaje

El producto generado por la aplicación resulta útil durante el montaje de la estructura, ya que permite verificar la disponibilidad de los elementos y, en función de eso, planificar o ajustar el proceso de montaje en caso de elementos faltantes. Dado que los archivos IFC son compatibles con gran variedad de dispositivos móviles, incluido celulares, es práctico disponer del modelo en terreno para identificar de manera temprana problemas relacionados con falta de coordinación entre las distintas áreas que interactúan. Además, el uso de la aplicación facilita la presentación del avance al ofrecer una visualización 3D más clara.

7.3 Compatibilidad con la metodología BIM

En este apartado se mostrará el apoyo que puede ofrecer la aplicación desarrollada a la metodología BIM considerando el documento “Estándar BIM para proyectos públicos: Intercambio de información entre solicitante y proveedores” publicado por CORFO (2021).

La aplicación desarrollada ofrece una visualización gráfica del estado de fabricación de los elementos por medio de generar un modelo 3D con dicha información, por lo cual este puede ser utilizado tanto



para la coordinación como para la construcción. En ambos casos, cumple con los requisitos de consolidar en un único entorno los modelos realizados en otras etapas como arquitectura o diseño de infraestructura, estructura y MEP (mecánico, eléctrico y sanitario), además de garantizar la interoperabilidad de la información al tratarse de un archivo IFC.

Los Usos BIM son métodos aplicables a las distintas fases de un proyecto que permiten aprovechar al máximo la metodología y alcanzar los objetivos definidos. En la fase de construcción se distinguen cuatro Usos principales, de los cuales la Planificación y el Control de Obra se relacionan directamente con la aplicación desarrollada, ya que la herramienta gráfica facilita la programación de actividades y ayuda a que la ejecución de la obra cumpla con los requisitos establecidos previamente.

Los Tipos de Información (TDI) son conjuntos de datos presentes en un modelo, organizados según su utilidad a lo largo del ciclo de vida del proyecto. En el modelo generado predomina el TDI de Logística y Secuencia de Construcción (TDI_M), pues proporciona información necesaria para planificar y coordinar tanto la logística como el orden de las actividades constructivas.

Los Niveles de Información (NDI), son el grado de información geométrica y no geométrica que deben incluir los elementos de un modelo según la etapa del proyecto para el que se utilice este, y se relacionan directamente con los TDI. En el caso del modelo generado por la aplicación, cuyo TDI principal es el de Logística y Secuencia de Construcción (TDI_M), el estándar indica que el nivel de información que puede alcanzar ese TDI es el de nivel 3 (NDI-3), nivel 4 (NDI-4) y nivel 5 (NDI-5). La aplicación aporta principalmente al nivel NDI-5, pues este exige información de la fabricación y el montaje de los elementos.

8 Conclusión y recomendación

El objetivo de este proyecto fue crear un programa económico y de fácil implementación que permita representar de manera gráfica el estado de fabricación de los elementos que conforman una estructura metálica. Esta herramienta, al mejorar la visualización de la información, contribuirá a revertir el bajo aumento de productividad que ha tenido el rubro de la construcción durante los últimos años.

Esta herramienta facilitar el control de la fabricación de los elementos al permitir al cliente verificar y ajustar la secuencia de producción según sus requerimientos, contribuyendo con un formato más simple de analizar los informes de avance de maestranza. Además, apoya al montaje en terreno al mostrar la disponibilidad de elementos en un modelo 3D con formato IFC, el cual es un formato compatible con una gran variedad de dispositivos móviles, agilizando así la planificación de los trabajos. Por último, se alinea con el Estándar BIM para Proyectos Públicos (CORFO, 2021), ya que el modelo generado en formato IFC facilita la interoperabilidad y representa de manera gráfica la información de avances y contiene datos provenientes de otras fases del proyecto. En la fase de construcción, apoya especialmente los Usos BIM de Planificación y Control de Obra, facilitando la programación de actividades y el cumplimiento de los requisitos establecidos previamente. Además, el Tipo de Información que proporciona es la de Logística y Secuencia de Construcción (TDI_M) y contribuye al nivel de detalle 5 (NDI-5) al incluir datos sobre la fabricación de los elementos y dar un punto de partida al montaje de la estructura.

El principal desafío al programar la aplicación fue resolver de manera eficiente el caso especial en el que una misma marca de conjunto tiene asociado distintos estados de fabricación, dando como solución que el usuario deba ordenar estos últimos antes de que la aplicación genere el producto. Esto facilita que la aplicación funcione correctamente para cualquier estado de fabricación que se esté considerando en el proyecto, sin comprometer la fácil implementación de esta herramienta.

Luego de realizar la tarea de programación, se obtuvo una aplicación que cumple con los objetivos planteados y además ofrece beneficios en términos de tiempo, ya que, una vez disponibles los archivos necesarios para su ejecución, el proceso tarda menos de 5 min.



Para realizar la verificación se utilizaron dos casos de estudio: una estructura industrial y el refuerzo de un puente. La principal diferencia entre estas dos estructuras, considerando la evaluación del desempeño de la aplicación, está en el total de elementos que lo conforman, siendo aproximadamente 21.400 y 6.500 respectivamente. Terminada la ejecución de la aplicación, se observó que el producto final no se ve afectado por el número de elementos. La diferencia en el proceso de prueba entre ambos casos estuvo dada por la necesidad de adaptar los reportes de estados de fabricación al formato correcto, debido a que participan distintas maestranzas en estos proyectos.

Para verificar que la aplicación creada asigna correctamente el estado de fabricación indicado en el reporte de maestraza, se obtuvo cada GUID de la estructura con su respectivo estado, pero considerando dos fuentes de información distinta. La primera fuente corresponde al reporte de maestraza y del modelo, y la segunda fue el modelo generado por la aplicación. Finalmente, se comparó la información obtenida, obteniendo que en los dos casos de estudio las fuentes coinciden en la información, concluyendo así que el estado de fabricación se representa de manera correcta.

En resumen, la aplicación desarrollada cumple con los objetivos propuestos, ofreciendo una solución práctica, accesible, precisa y rápida para visualizar el estado de fabricación de los elementos en modelos 3D. Además, se alinea con el estándar BIM y su implementación permite mejorar el control de avance de los elementos que conforman unas estructuras metálicas, facilitando la toma de decisiones en terreno, reduciendo la posibilidad de errores por falta de información integrada y ayudando a la detección temprana de elementos que no han iniciado su etapa de fabricación.

A partir de la experiencia adquirida durante el desarrollo de este proyecto, y con el objetivo de proponer mejoras para futuras versiones de la aplicación, se observó que los reportes de estado de fabricación varían en formato según la maestraza que los emite. Por esta razón, sería útil realizar un estudio de dichos formatos y desarrollar una herramienta que los convierta automáticamente en uno compatible con la aplicación creada, lo que permitiría ahorrar tiempo al usuario y facilitar el uso de esta.

9 Referencias

- Al-Yami, A., & Sanni-Anibire, M. O. (2019). BIM in the Saudi Arabian construction industry: state of the art, benefit and barriers. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 39(1), 33–47. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-08-2018-0065>
- Bamgbose, O. A., Ogunbayo, B. F., & Aigbavboa, C. O. (2024). Barriers to Building Information Modelling Adoption in Small and Medium Enterprises: Nigerian Construction Industry Perspectives. *Buildings*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/buildings14020538>
- Barbosa, F., Woetzel, J., Mischke, J., Ribeirinho, M., Sridhar, M., Parsons, M., Bertram, N., & Brown, S. (2017). Reinventing construction: A route to higher productivity. *McKinsey & Company*.
- Bravo, Á. (2017). *SISTEMA PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACERO*.
- Chahrouh, R., Hafeez, M. A., Ahmad, A. M., Sulieman, H. I., Dawood, H., Rodriguez-Trejo, S., Kassem, M., Naji, K. K., & Dawood, N. (2020). Cost-benefit analysis of BIM-enabled design clash detection and resolution. *Construction Management and Economics*, 39(1), 55–72. <https://doi.org/10.1080/01446193.2020.1802768>
- Choclán Felipe, Soler Manuel, & González Ramón. (2014). INTRODUCCION A LA METODOLOGÍA BIM. *ResearchGate*. <https://www.researchgate.net/publication/284159764>
- CORFO. (2021). *Estándar BIM para proyectos públicos: Intercambio de información entre solicitante y proveedores*.



- Crowder, N. C., Sandhu, H. K., Srikanth Bodda, S., Han, K., Gupta, A., & Ashe, W. (2024). *BIM Interoperability Tool for Improving IFC-based Model Data Exchange Between Architectural Design and Structural Analysis for Linear Piping Components*.
- Das, K., Khurshed, S., & Paul, V. K. (2025). The impact of BIM on project time and cost: insights from case studies. *Discover Materials*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s43939-025-00200-2>
- Gerbino, S., Cieri, L., Rainieri, C., & Fabbrocino, G. (2021). On bim interoperability via the ifc standard: An assessment from the structural engineering and design viewpoint. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(23). <https://doi.org/10.3390/app112311430>
- Kainz, C., Wolf, G., & Braml, T. (2023). Use of data from BIM Method for new and existing concrete bridges-Practical report and possible improvements. *University of the Bundeswehr Munich*. <https://www.researchgate.net/publication/375594878>
- Khattra, S. K., & Jain, R. (2024). Building Information Modeling: A Comprehensive Overview of Concepts and Applications. *Advances in Research*, 25(5), 140–149. <https://doi.org/10.9734/air/2024/v25i51145>
- Mohamed, H. A., Hashim, N., Yusuwan, N. M., Hanafiah, M. H., & Shamsuddin, S. M. (2024). ASSESSING COST AND BENEFIT ATTRIBUTES OF BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) IMPLEMENTATION IN MALAYSIAN PUBLIC AGENCY: PLS-SEM APPROACH. *Journal of Information Technology in Construction*, 29, 308–323. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.015>
- Rodríguez José. (2021). *Generative Design for Constructability improvements with BIM|Lean approach*.
- Samimpay, R., & Saghatforoush, E. (2020). Benefits of Implementing Building Information Modeling (BIM) in Infrastructure Projects. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 10(2), 123–140. <https://doi.org/10.2478/jeppm-2020-0015>
- StruMIS. (2025). *Gestión del proceso de fabricación de elementos de acero*. Strumis. <https://strumis.com/>

A. Apéndice 1

Manual de usuario para una correcta ejecución del programa desarrollado.

Hardware recomendado

Tabla A.1: Requisitos de hardware recomendados para ejecutar la aplicación.

Categoría	Recomendados
Sistema operativo	Windows 11
RAM	16 GB
CPU	Intel i3-10105
Almacenamiento	500 MB

Nota: Parámetros según los equipos utilizados en las pruebas.

Introducción al programa



Este programa tiene como objetivo representar de manera gráfica, el estado de fabricación de los elementos que conforman una estructura metálica. Es una herramienta que mejora la visualización de la información de avance para facilitar la toma de decisiones.

Archivos de entrada

Para poder ejecutar este programa es necesario entregar 3 archivos con un formato específico, estos se aclaran a continuación.

Reporte de estados de fabricación: Este debe ser un archivo en formato .xlsm, .xlsx, .xls, .csv o .txt con cada marca de conjunto, según el plano de fabricación, y su respectivo estado de fabricación. Es importante que los títulos de las columnas que se presentan en la Tabla A.2 no cambien independientemente del proyecto que se esté utilizando. Nota: La Tabla A.2 es un ejemplo donde los títulos están en mayúsculas, pero pueden estar en minúsculas sin ningún problema.

Tabla A.2: Ejemplo del formato necesario para el reporte de estados de fabricación.

MARCA	SHOPSTATUS
D1E1-A001-CR11	Preparación de Materiales.
D1E1-A001-CR14	Planificación.

En caso de que no se cumpla el formato descrito en la Tabla A.2, aparecerá en pantalla un mensaje de error, ver Ilustración A.1.

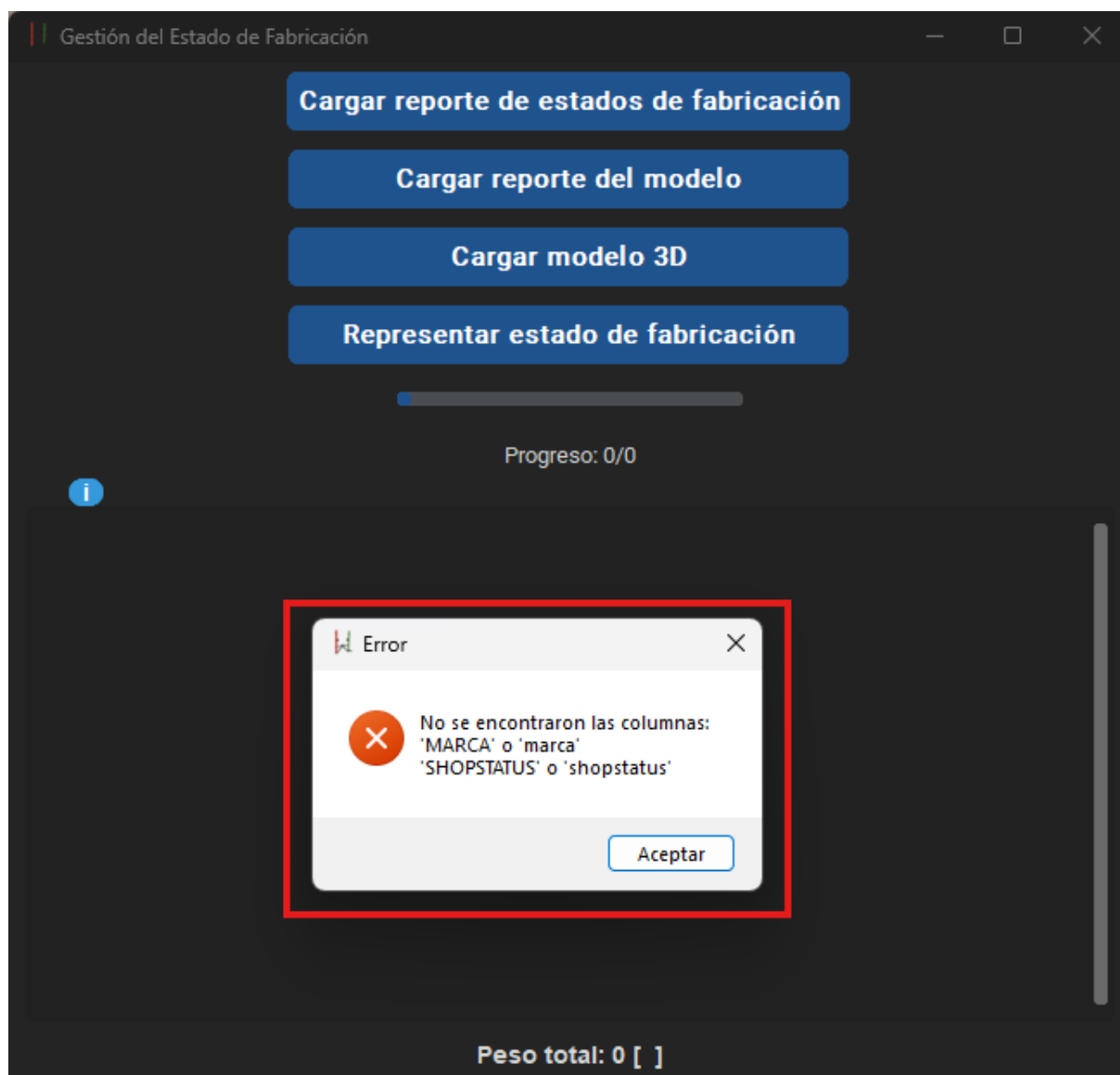


Ilustración A.1: Notificación de error al ingresar el reporte de estados de fabricación sin formato.

Reporte del modelo: Este debe ser un reporte generado a través del software de modelado que se esté utilizando en formato .xlsm, .xlsx, .xls, .csv o .txt con los GUID, marcas de conjunto (para este apartado llamadas assembly_pos) y si el elemento es parte principal o secundaria. Además, se debe agregar una columna vacía con el título “SHOPSTATUS”. Es importante que los títulos de las columnas que se presentan en la Tabla A.3 no cambien, independientemente del proyecto que se esté utilizando. Nota: La Tabla A.3 es un ejemplo donde los títulos están en mayúsculas, pero pueden estar en minúsculas sin ningún problema.

Tabla A.3: Ejemplo del formato necesario para el reporte del modelo.

GUID	ASSEMBLY_POS	PARTE_PRINCIPAL	SHOPSTATUS
------	--------------	-----------------	------------

ba82de55-9e5c-4648-acf3-a40bd9180ea7	D1E1-A001-AR07	1
e7ab6a91-2618-4b56-9149-c393dacd4367	D1E1-A001-AR07	0
f61867f4-0f57-4f3e-962b-41cd11a98335	D1E1-A001-AR07	1
7bfb6060-2965-43c4-a414-847345ed5cae	D1E1-A001-AR07	0

En caso de no cumplir con el formato que muestra la Tabla A.3, aparecerá una pantalla de error, ver Ilustración A.2.

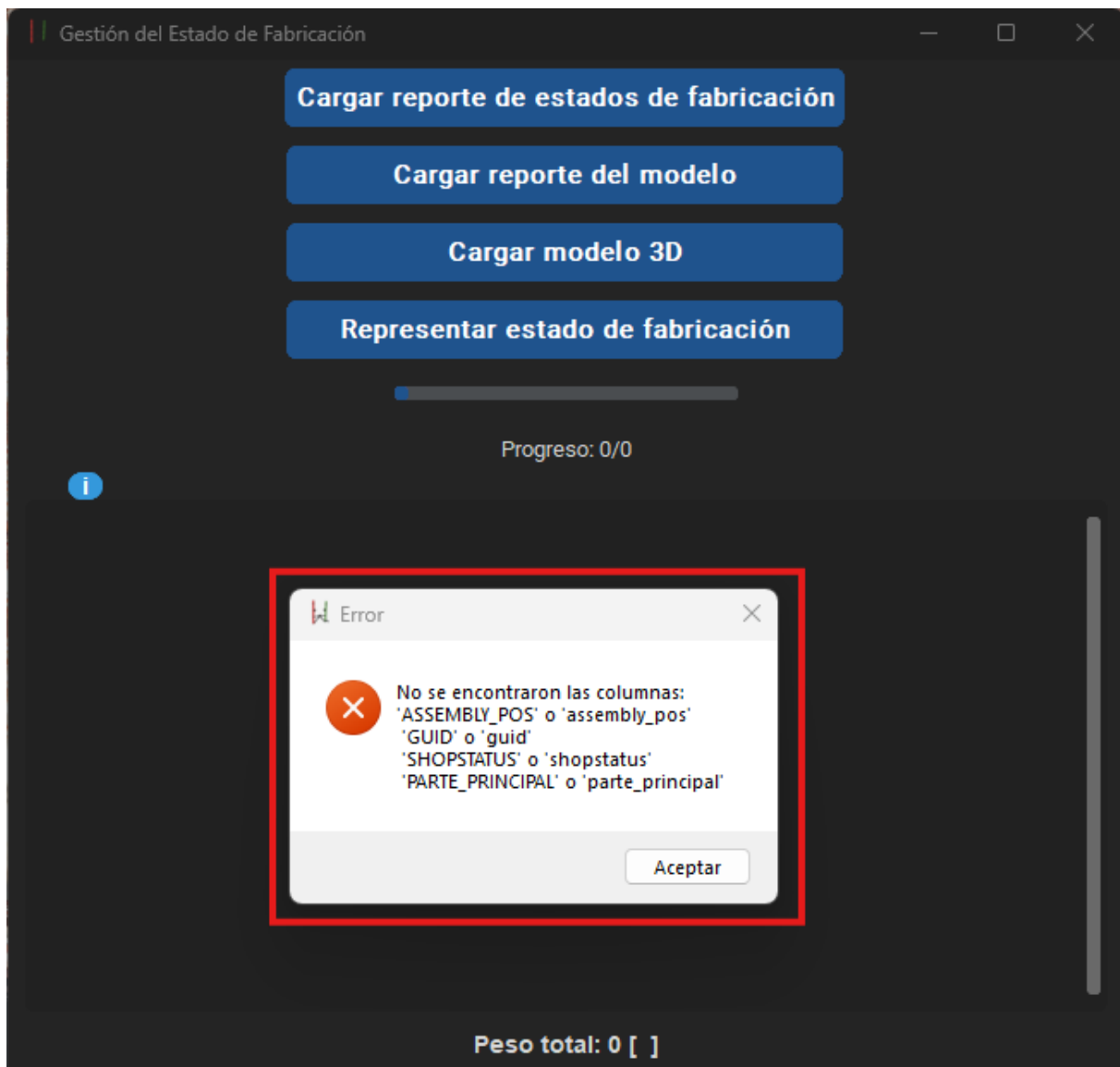


Ilustración A.2: Notificación de error al ingresar el reporte del modelo con formato incorrecto.

Modelo 3D: El modelo 3D debe exportarse en formato .IFC considerando que al momento de elegir la información que va a contener esta deba ser los GUID de los elementos, además del peso asociado a cada uno.

A continuación, se enlistan las siguientes precauciones que se deben tener a la hora de elaborar los archivos de entrada.

- El formato que tiene el GUID (IFC o MS) debe ser el mismo en el reporte del modelo como en el modelo en sí.
- Para representar de buena forma una misma marca con distinto estado de fabricación, los elementos en el reporte del modelo deben estar ordenados desde el que se debe fabricar primero hacia abajo. En software con Tekla Structure esto se resuelve al elegir ejes de referencia a la hora de generar el reporte.

Interfaz

Cada archivo de entrada tiene un botón asignado para cargarlo a la aplicación, la Ilustración A.3 muestra dichos botones.

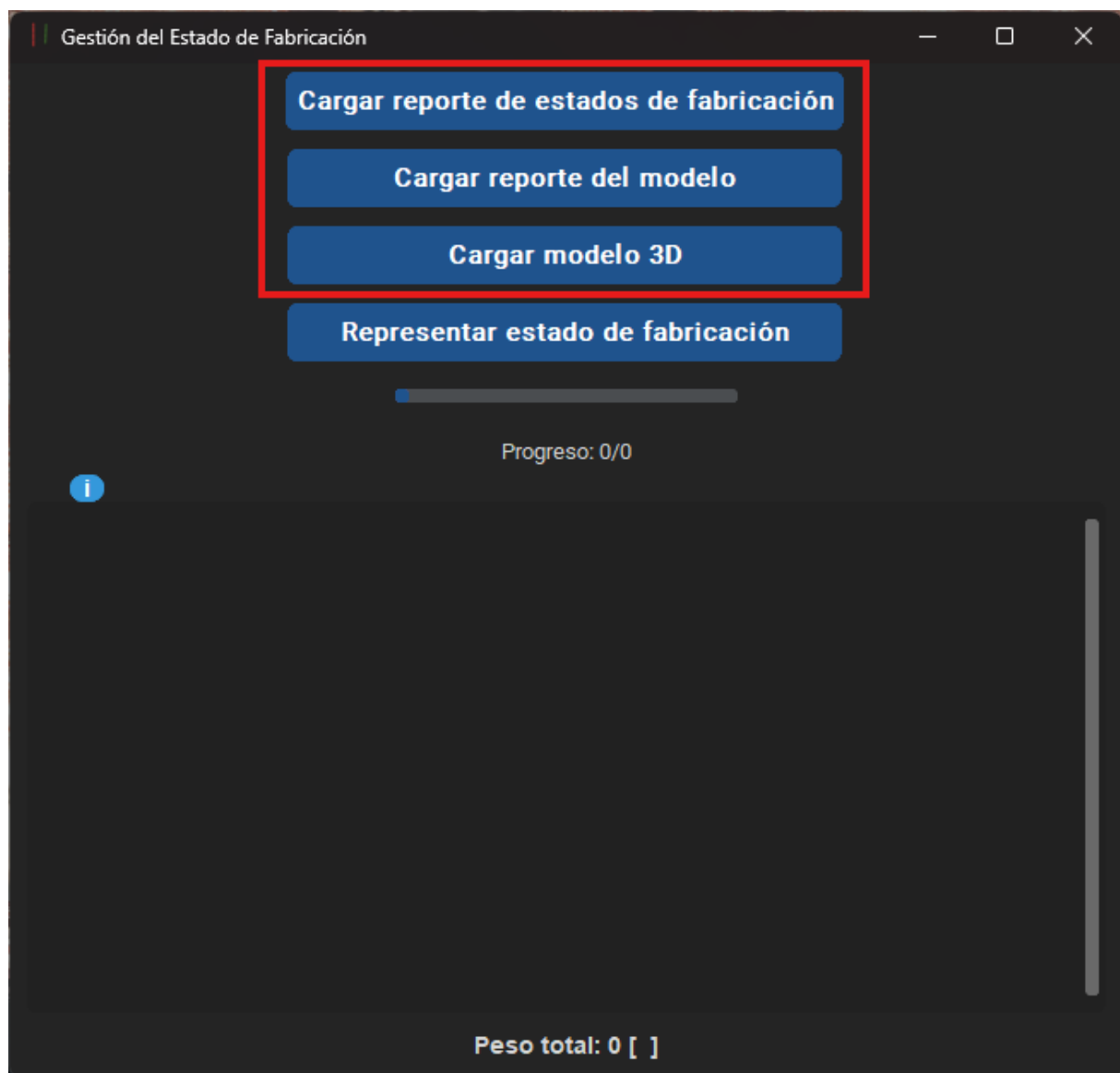


Ilustración A.3: Botones asignados para cargar los archivos de entrada.

Al momento de cargar el reporte de estados de fabricación, se desplegará una lista de los estados de fabricación encontrados en el archivo, sin repetición, agregando “Detallamiento”. Este último se utiliza para verificar si hay elementos en el modelo 3D que no han sido considerados por maestranza (elementos que no aparecen en el reporte de estados de fabricación). A continuación, en la Ilustración A.4 se muestra un ejemplo de cómo se ve la interfaz luego de subir el reporte de estados de fabricación.

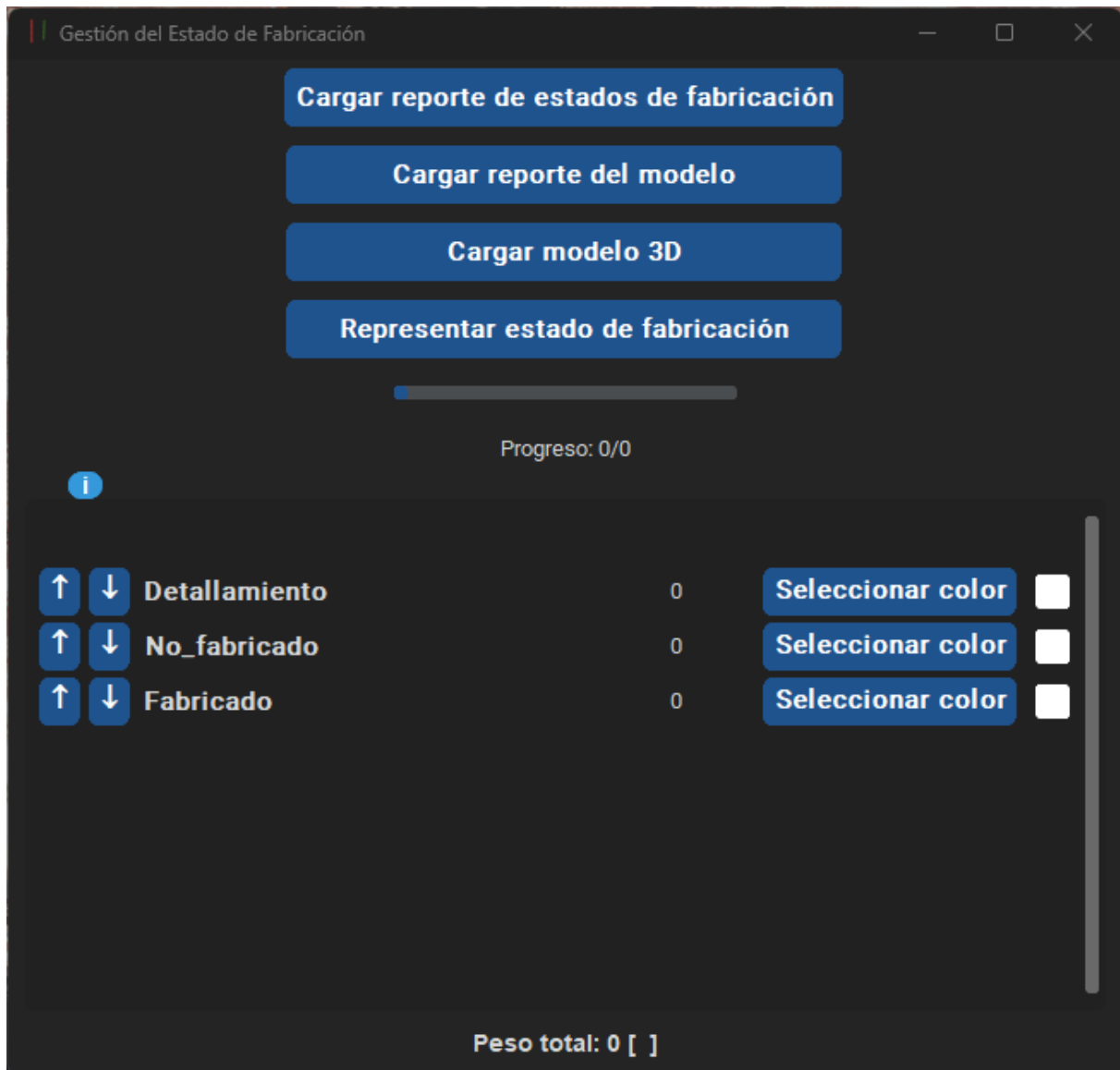


Ilustración A.4: Interfaz de usuario luego de cargar el reporte de estados de fabricación.

Una vez cargado el reporte del modelo 3D el estado de fabricación “Detallamiento” desaparecerá de la lista en caso de que todos los GUID que tiene este archivo tengan asociados un estado de fabricación según maestranza.

A continuación, se enlistan el detalle de la información y acciones que ofrece la interfaz luego de cargar los datos de entrada.

- Asignación de colores: para asignarle un color al estado de fabricación solo basta con apretar el botón que se muestra en la Ilustración A.5 y seleccionar el color. Notar que, una vez seleccionado el color, este se verá en el cuadrado enmarcado por el rectángulo naranja.

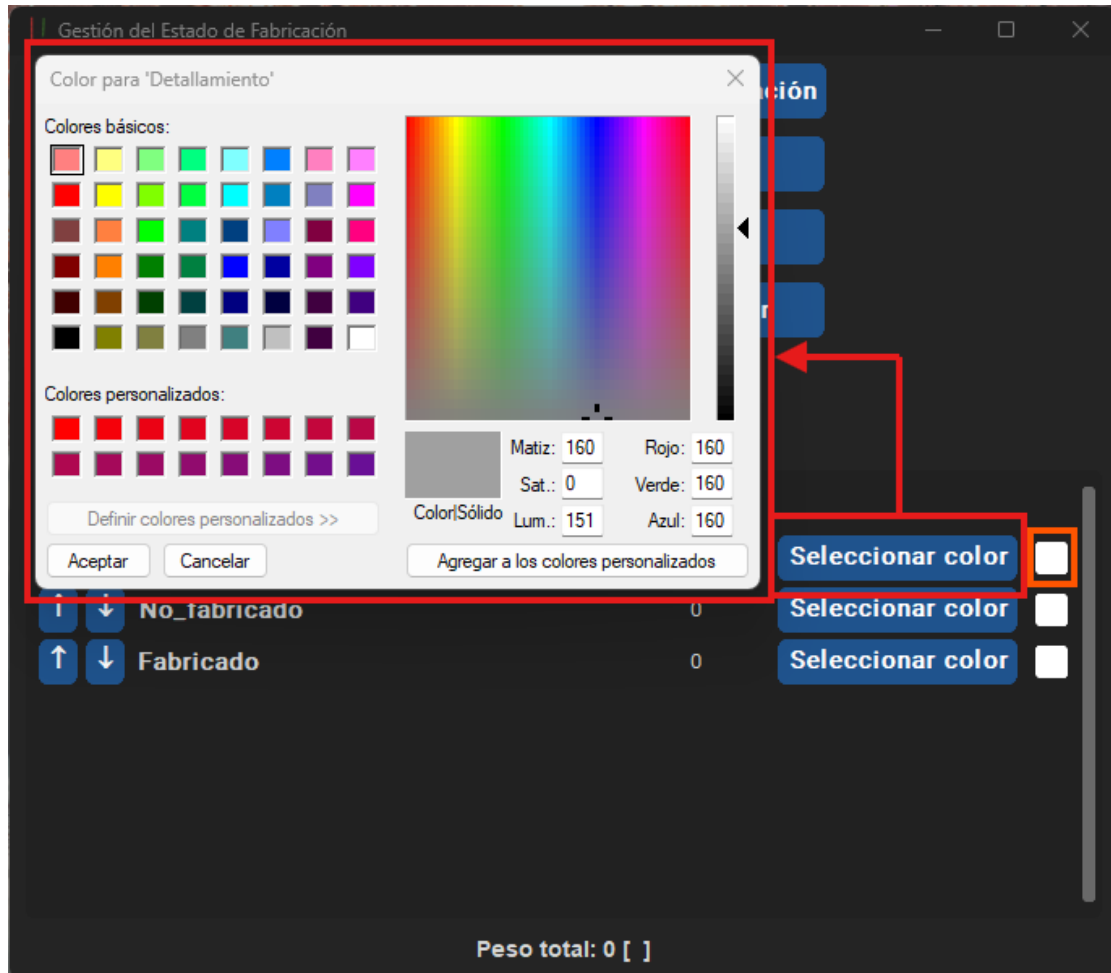


Ilustración A.5: Interfaz para personalizar el color de los distintos estados de fabricación.

- Orden de los estados de fabricación: Por medio de las flechas enmarcadas en color rojo en la imagen es que se debe posicionar cada estado de fabricación en orden cronológico desde el que sucede antes al que sucede después. Lo que se enmarca en verde en la Ilustración A.6 es un recordatorio de lo anterior mencionado, este aparece con solo pasar el cursor por encima del símbolo “i”.

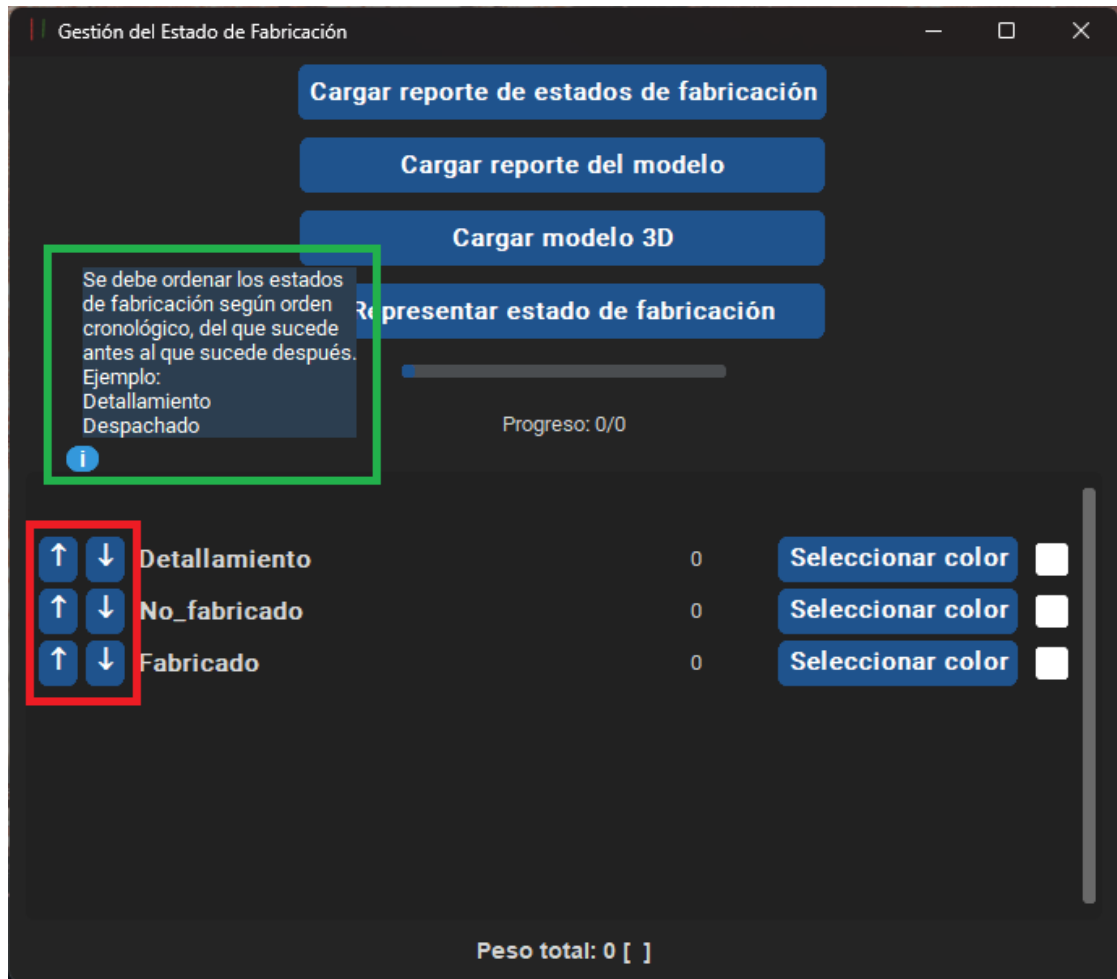


Ilustración A.6: Interfaz para ordenar los estados de fabricación cronológicamente.

- Ejecutar la aplicación: Luego de cargar los archivos de entrada, asignar los colores y ordenar los estados de fabricación, oprimiendo el botón enmarcado en rojo en la imagen se genera el modelo 3D entregado por el usuario, manteniendo el formato IFC, pero con la representación gráfica del estado de fabricación de todos los elementos por medio de los colores que les asignó. Adicionalmente, la barra enmarcada en naranja, ver Ilustración A.7, indica el progreso que lleva la ejecución del programa.

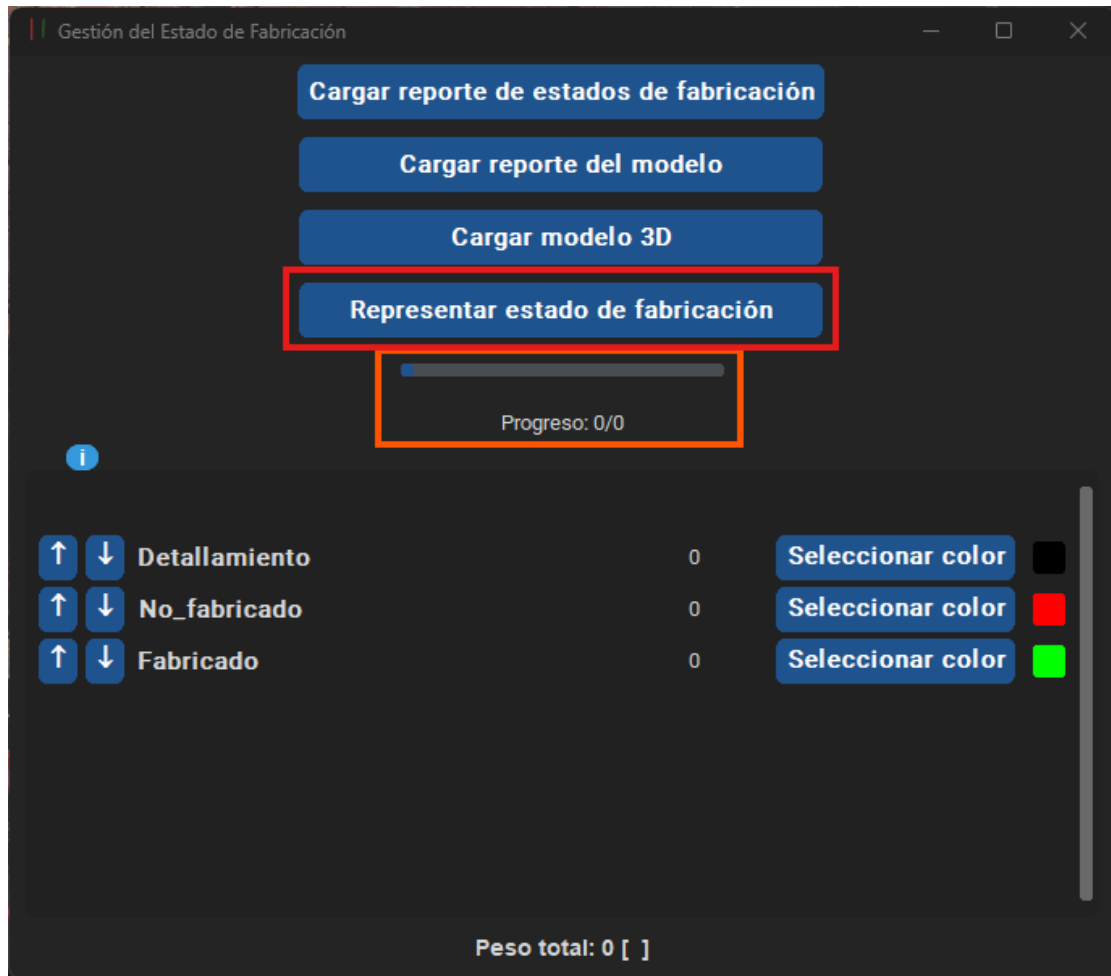


Ilustración A.7: Botón para ejecutar la aplicación y barra de progreso.

- Información adicional: Luego de ejecutar el programa la interfaz entrega el peso asociado a cada estado de fabricación y el peso total de la estructura, ver Ilustración A.8.

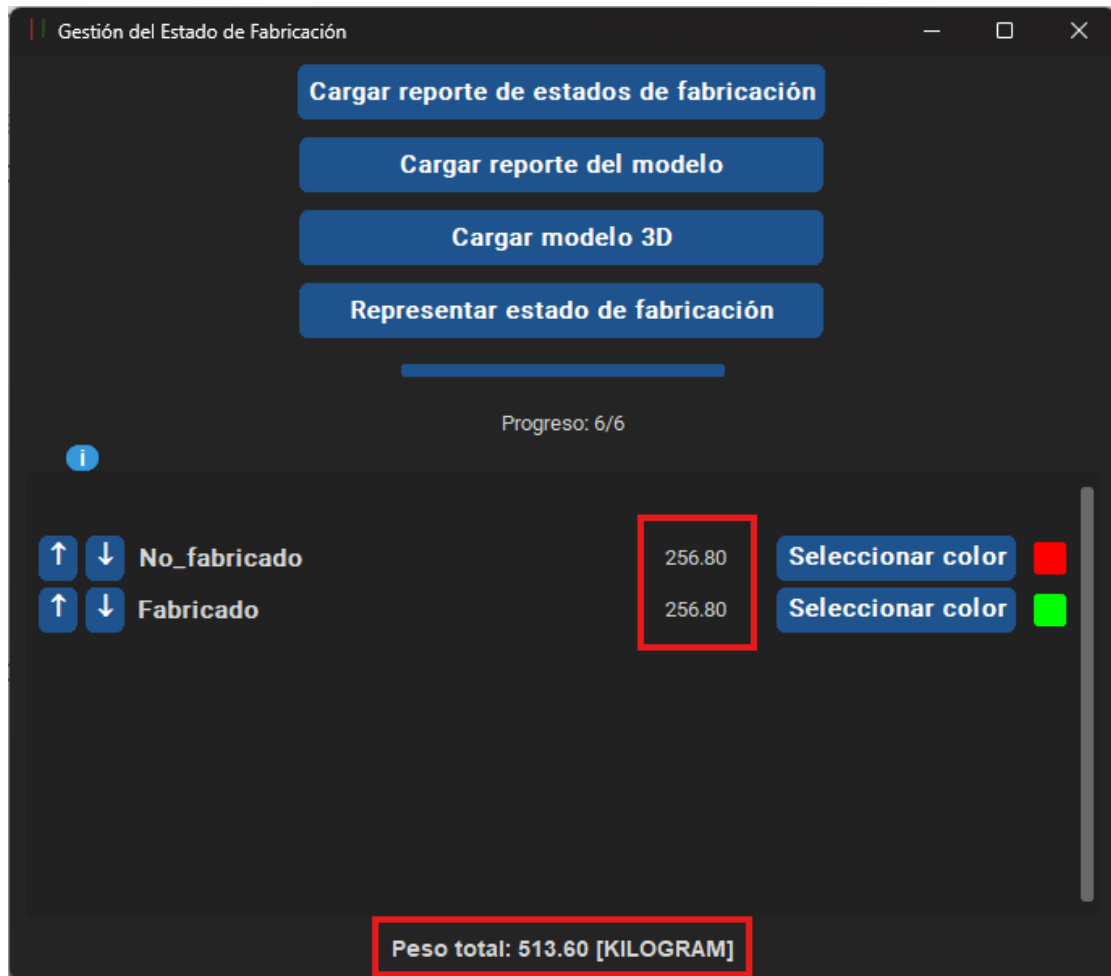


Ilustración A.8: Peso de la estructura y el asociado a cada estado de fabricación.

- Visualización del resultado: Para visualizar el producto generado por el programa es necesario hacer uso de visores 3D que permitan importar archivos IFC, ejemplo de ellos es BIMvision y Trimble Connect.

Instrucciones

En la Ilustración A.9 se muestran los módulos que se deben completar para ejecutar correctamente el programa, evidenciando la cronología que se debe seguir por medio de los números. Hay que aclarar que el orden que se considere internamente en cada módulo a la hora de completarlos no altera el producto.

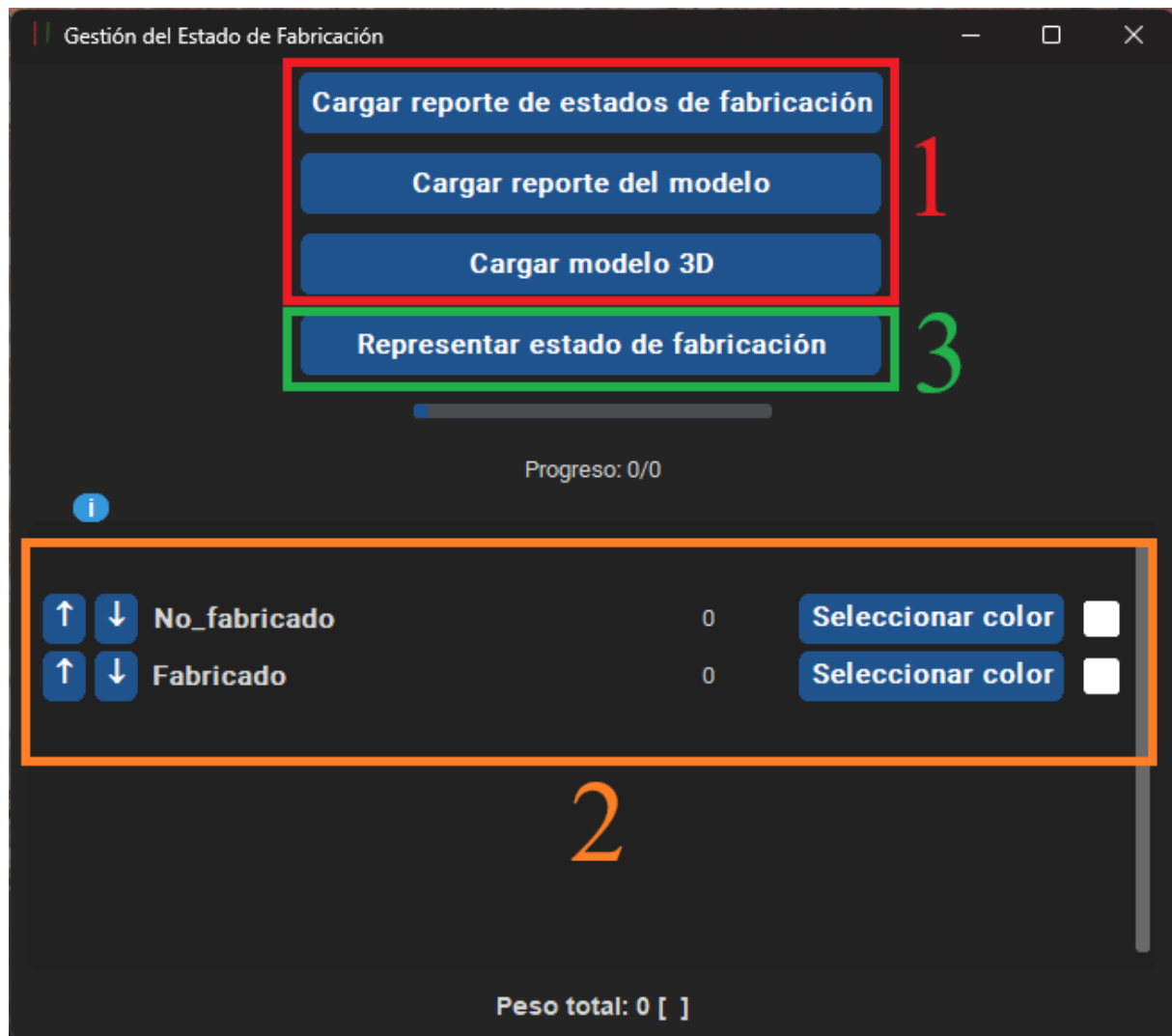


Ilustración A.9: Secuencia completa de ejecución del programa.

B. Apéndice 2

La Ilustración B.1 muestra un extracto del reporte de avances que utiliza la maestranza del caso de estudio 2 para informar el estado de fabricación que tiene los elementos.



UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Elementos	Marca plano Fabricación	Cantidad	peso	
			Unitario	Total
			(kg)	(kg)
			139,297	
GRUPO 1 - PRIMERA PRIORIDAD		184	78	14,345
CANAL REFUERZO SOLDADA PL. 16 X 166 X 512 X 2515	D1E1-A001-CR11	2	256.45	513
CANAL REFUERZO SOLDADA PLEG. PL16 X 166 X 512 X 2438	D1E1-A001-CR14	1	248.63	249
CANAL REFUERZO SOLDADA PLEG. PL16 X 166 X 512 X 2438	D1E1-A001-CR15	1	248.85	249
PLANCHA REFUERZO PLEG PL.12 X 264 X 1297	D1E1-A001-PL118	1	32.42	32
PLANCHA REFUERZO PLEG PL.12 X 264 X 1297	D1E1-A001-PL119	1	32.42	32
PLANCHA REFUERZO PL. 12 X 264 X 2566	D1E1-A001-PL62	2	63.79	128
CANAL REFUERZO SOLDADA PL.25 X 75 X 280 X 1600	D1E1-A002-CR05	2	94.2	188
CANAL REFUERZO SOLDADA PL. 16 X 166 X 512 X 2138	D1E1-A002-CR06	2	218.05	436
PLANCHA REFUERZO PL. 12 X 264 X 4382	D1E1-A002-PL117	2	108.94	218
ANGULO ARMADO PL. 25 X 140 X 320 X 5890	D1E1-A003-AR12	2	505.93	1012
ANGULO ARMADO PL. 25 X 140 X 320 X 5890	D1E1-A003-AR15	1	505.98	506
ANGULO ARMADO PL. 25 X 140 X 320 X 5890	D1E1-A003-AR16	1	505.98	506
CANAL REFUERZO SOLDADA PLEG. PL.28 X 178 X 636 X 187	D1E1-A003-CR02	1	382.93	383
CANAL REFUERZO SOLDADA PLEG. PL.28 X 178 X 636 X 187	D1E1-A003-CR13	1	382.93	383
PLANCHA REFUERZO PLEG PL.28 X 256 X 4910	D1E1-A003-PL97	1	275.53	276

10%		5%		20%		25%		20%		15%		5%		Avance	
Ingeniería Detallamiento		Planificacion		Preparacion de Materiales.		Armado		Soldadura		Granallado y Pintura		Embalaje e Inspección			
		%	Peso (kg)	%	Peso (kg)	%	Peso (kg)	%	Peso (kg)	%	Peso (kg)	%	Peso (kg)	%	Peso (kg)
100%	139,297	100%	139,297	82%	114,313	31%	42,613	25%	34,443	0%	-	0%	-	44%	61,299
100%	14,345	100%	14,345	100%	14,345	70%	10,042	55%	7,890	0%	-	0%	-	64%	9,109
100%	512.9	100%	512.9	100%	512.9	70%	359.0	55%	282.1	0%	-	0%	-	64%	326
100%	248.6	100%	248.6	100%	248.6	70%	174.0	55%	136.7	0%	-	0%	-	64%	158
100%	248.9	100%	248.9	100%	248.9	70%	174.2	55%	136.9	0%	-	0%	-	64%	158
100%	32.4	100%	32.4	100%	32.4	70%	22.7	55%	17.8	0%	-	0%	-	64%	21
100%	32.4	100%	32.4	100%	32.4	70%	22.7	55%	17.8	0%	-	0%	-	64%	21
100%	127.6	100%	127.6	100%	127.6	70%	89.3	55%	70.2	0%	-	0%	-	64%	81
100%	188.4	100%	188.4	100%	188.4	70%	131.9	55%	103.6	0%	-	0%	-	64%	120
100%	436.1	100%	436.1	100%	436.1	70%	305.3	55%	239.9	0%	-	0%	-	64%	277
100%	217.9	100%	217.9	100%	217.9	70%	152.5	55%	119.8	0%	-	0%	-	64%	138
100%	1011.9	100%	1011.9	100%	1011.9	70%	708.3	55%	556.5	0%	-	0%	-	64%	643
100%	506.0	100%	506.0	100%	506.0	70%	354.2	55%	278.3	0%	-	0%	-	64%	321
100%	506.0	100%	506.0	100%	506.0	70%	354.2	55%	278.3	0%	-	0%	-	64%	321
100%	382.9	100%	382.9	100%	382.9	70%	268.1	55%	210.6	0%	-	0%	-	64%	243
100%	382.9	100%	382.9	100%	382.9	70%	268.1	55%	210.6	0%	-	0%	-	64%	243
100%	275.5	100%	275.5	100%	275.5	70%	192.9	55%	151.5	0%	-	0%	-	64%	175

Ilustración B.1: Extracto de informe de avance de maestranza.