

AUXILIAR DE INGENIERIA CIVIL PARA LA ELABORACIÓN  
DE PLANOS DE TALLER, MONTAJE Y CONTROL DE  
FABRICACIÓN PARA EL PROYECTO EMPAS EN PERALTA  
INGENIERIA S.A.S

Kevin Jair Paredes Pérez

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil.

Director

Alvaro Viviescas Jaimes

Ph.D. en Ingeniería Estructural

Tutor

Fabian Andrés Martínez Muñoz

Esp. en Estructuras

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2026

**Dedicatoria**

Dedico este trabajo a la memoria de mi padre, quien con su ejemplo, esfuerzo y valores fue siempre una fuente de inspiración en mi vida. Aunque ya no esté físicamente, su guía y enseñanza permanecen presentes en cada logro.

*En memoria de mi padre, fallecido el 11 de abril de 2025.*

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	10
1. Información de la Empresa y el proyecto .....	11
1.1 Empresa.....	11
1.2 Proyecto EMPAS .....	11
1.3 Área de trabajo del practicante. ....	12
1.4 Organigrama. ....	12
1.5 Objetivos.....	13
1.5.1 Objetivo General.....	13
1.5.2 Objetivos Específicos.....	13
2. Desarrollo de la práctica por objetivos. ....	14
2.1. Validación del modelo estructural. ....	14
2.3. Generación de cantidades de obra y planos de corte .....	25
2.4. Elaboración de planos de taller, planos de conjuntos, preensamble y montaje .....	28
2.5. Seguimiento y control del proceso de fabricación.....	32
3. Análisis de la experiencia .....	36
3.1 Aprendizajes técnicos .....	36
3.2 Competencias desarrolladas.....	37
3.3 Dificultades y soluciones .....	37
3.4 Recomendaciones .....	38
Referencias Bibliográficas .....	39

**Lista de Figuras**

Figura 1. Organigrama del proyecto. ....	13
Figura 2. Vista general del modelo estructural tridimensional en el software Tekla Structures. .	15
Figura 3. Detalle de la implementación de uniones tipo brida en elementos estructurales, con el fin de facilitar el transporte y el montaje en obra. ....	17
Figura 4. Codificación y organización de conjuntos estructurales en el modelo desarrollado en Tekla Structures. ....	22
Figura 5. Nesting de platinas 9 mm EMPAS en el programa de la máquina de corte.....	26

**Lista de Apéndices.**

Apéndice A. Verificación del modelo estructural.....	40
Apéndice B. Requerimiento y gestión de material. ....	44
Apéndice C. Planos de taller.....	47
Apéndice D. Control de producción y avance. ....	52

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Identificación de inconsistencias y soluciones implementadas en el modelo estructural.....	16
---	----

### **Declaración de apoyo tecnológico mediante inteligencia artificial**

Durante la elaboración del presente trabajo de grado se utilizó la herramienta de inteligencia artificial ChatGPT, desarrollada por OpenAI, como apoyo en la organización del contenido, revisión de la redacción y estructuración del documento. Su uso se orientó principalmente a mejorar la claridad en la exposición de los aspectos técnicos y normativos, así como facilitar la formulación de ideas complementarias dentro del desarrollo del proyecto.

## RESUMEN

**Título:** Auxiliar de ingeniería civil para la elaboración de planos de taller, montaje y control de fabricación para el proyecto EMPAS en Peralta Ingeniería S.A.S.

**Autor:** Kevin Jair Paredes Pérez.

**Palabras Clave:** Estructuras metálicas, Tekla Structures, BIM, planos de taller, control de fabricación, nesting, NSR-10, AWS D1.1.

### Descripción:

Este documento expone la práctica empresarial realizada en PERALTA INGENIERÍA S.A.S. para el proyecto EMPAS, el cual contempló la fabricación y montaje de la cubierta metálica de tipo industrial para la PTAR Río Frío (Girón y Floridablanca, Santander). El trabajo se enfocó en el modelado, detallado, optimización de materiales y seguimiento técnico en planta, articulando la ingeniería civil con la dinámica operativa metalmeccánica.

En la fase inicial, se validó el modelo 3D en Tekla Structures hasta alcanzar un nivel de desarrollo LOD 400, corrigiendo inconsistencias geométricas y conexiones en coordinación con diseño, e incluyendo uniones tipo brida para facilitar el transporte de los pórticos. Posteriormente, se optimizó la compra de perfiles y platinas mediante *nesting* en AutoCAD y el uso de retales, generando archivos CNC para reducir desperdicios.

Para la documentación técnica, se elaboraron planos de taller, conjuntos, preensamble y montaje, aplicando criterios de la NSR-10, AISC y el código de soldadura AWS D1.1 para definir empalmes y perforaciones. Los errores en campo se mitigaron supervisando el preensamble en planta con un pórtico estructural como matriz de control. Asimismo, se estructuró un control de avance por peso (kg) y códigos de color en BIM para monitorear el corte, armado, soldadura, *sandblasting* (SSPC-SP10) y pintura.

La experiencia afianzó competencias en modelado detallado, gestión de suministros y toma de decisiones interdisciplinarias, coordinando con éxito la transición entre el diseño digital y la ejecución constructiva real.

## ABSTRACT

**Title:** Civil engineering assistant for the preparation of shop drawings, erection drawings, and manufacturing control for the EMPAS project at Peralta Ingeniería S.A.S.

**Author:** Kevin Jair Paredes Pérez.

**Keywords:** Structural steel, Tekla Structures, BIM, shop drawings, manufacturing control, nesting, NSR-10, AWS D1.1.

### Description:

This document presents the business internship at PERALTA INGENIERÍA S.A.S. for the EMPAS project, involving the fabrication and assembly of the industrial steel roof structure for the Río Frío WWTP (Girón and Floridablanca, Santander). The work focused on 3D modeling, detailing, material optimization, and technical monitoring at the plant, connecting civil engineering with the operational dynamics of the steel industry.

Initially, the 3D model was validated in Tekla Structures to reach an LOD 400 level, correcting geometric inconsistencies and connections with the design department, and implementing flange joints to facilitate frame transportation. Subsequently, material take-offs were optimized using nesting in AutoCAD and scrap inventory, generating compatible CNC files to minimize manufacturing waste.

Regarding technical documentation, shop drawings, assembly drawings, workshop pre-assembly layouts, and erection plans were developed, applying NSR-10, AISC, and AWS D1.1 standards to define splices and hole spacings. Field errors were mitigated by supervising the plant pre-assembly using a master frame matrix. Additionally, a tracking system based on element weight (kg) and color-coding in the BIM model was structured to monitor cutting, fitting, welding, sandblasting (SSPC-SP10), and painting.

The experience reinforced professional competencies in detailed structural modeling, supply management, and multidisciplinary decision-making, successfully coordinating the transition from digital design to real construction execution.

---

AUXILIARY ENGINEERING PERALTA INGENIERÍA S.A.S – EMPAS PROJECT

Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Civil Engineering.  
Director: Alvaro Viviescas Jaimes. Ph.D. Structural engineering.

## **Introducción**

La correcta elaboración de planos de taller, planos de montaje y el control de los procesos de fabricación constituyen actividades fundamentales en el desarrollo de proyectos de estructuras metálicas. La precisión en la documentación técnica y la coherencia entre el diseño estructural, la fabricación en planta y el montaje en obra permiten optimizar recursos, evitar reprocesos y garantizar el cumplimiento de los cronogramas establecidos.

El presente trabajo de grado se desarrolla en el marco de la práctica empresarial realizada en la empresa PERALTA INGENIERÍA S.A.S., durante la ejecución del proyecto EMPAS, el cual contempla la fabricación y montaje de una estructura metálica de tipo industrial. Este proyecto se enmarca en un entorno de trabajo interdisciplinario en el que intervienen áreas como diseño estructural, fabricación, compras y gestión de proyectos, las cuales deben operar de manera coordinada para garantizar la viabilidad técnica y constructiva de la estructura.

Dentro de este contexto, el rol de auxiliar de ingeniería civil se enfoca en apoyar la revisión del modelo estructural, la elaboración de planos de taller y montaje, la generación de cantidades de obra y el seguimiento técnico de las actividades de fabricación, contribuyendo a la correcta ejecución del proyecto.

Durante el desarrollo de la práctica, se realizaron actividades orientadas a la validación del modelo estructural recibido del área de diseño, la organización de conjuntos estructurales para su fabricación y transporte, la elaboración de planos de corte de perfiles y platinas, así como la generación de planos de taller, conjuntos y montaje a partir del modelo en Tekla Structures. Adicionalmente, se efectuó el seguimiento de los procesos de fabricación mediante la elaboración de informes de avance, permitiendo llevar un control de las actividades de corte, perforado, armado, soldadura, limpieza y pintura.

Este trabajo tiene como propósito documentar y analizar el acompañamiento técnico realizado durante el proyecto EMPAS, evidenciando la importancia de la gestión de la información técnica y del control de fabricación en la optimización de los procesos productivos. Asimismo, busca integrar los conocimientos adquiridos durante la formación académica con la experiencia práctica en el sector de estructuras metálicas, fortaleciendo competencias profesionales relacionadas con la elaboración de planos, la coordinación entre áreas y el control técnico de proyectos.

Finalmente, el documento presenta la descripción de la empresa y el área de trabajo del estudiante, los objetivos del proyecto, la metodología aplicada, el desarrollo de las actividades por objetivos, los resultados obtenidos durante la práctica empresarial y las conclusiones derivadas del proceso, constituyendo un registro técnico del trabajo desarrollado y un aporte al mejoramiento continuo de los procedimientos de fabricación y montaje de estructuras metálicas.

## **1. Información de la Empresa y el proyecto**

### **1.1 Empresa**

PERALTA INGENIERÍA S.A.S. es una empresa dedicada a la ejecución de obras civiles, fabricación y montaje de estructuras metálicas, además de ofrecer servicios de consultoría, diseño e interventoría en proyectos de obra civil. La compañía se enfoca en mantener altos estándares de calidad para satisfacer las necesidades de sus clientes, brindando soluciones eficientes que contribuyen al desarrollo del sector.

Asimismo, promueve el bienestar de sus empleados, contratistas y demás partes interesadas, asegurando el cumplimiento de prácticas sostenibles y fomentando el cuidado del medio ambiente (PERALTA INGENIERÍA S.A.S., 2020).

### **1.2 Proyecto EMPAS**

El proyecto EMPAS corresponde a la construcción de una cubierta metálica ubicada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Río Frío, localizada en el Anillo Vial, sector El Caucho, entre los municipios de Girón y Floridablanca, departamento de Santander. Esta estructura se desarrolla como parte de las obras civiles destinadas a la optimización y protección de las instalaciones de la planta.

La cubierta está conformada por una estructura metálica liviana con una luz principal aproximada de 17 m, apoyada sobre pedestales de concreto. El sistema estructural se compone de pórticos resistentes a momento (PRM) en la dirección longitudinal, mientras que en la dirección transversal se emplean sistemas de arriostramiento mediante diagonales concéntricas, garantizando la estabilidad global de la estructura.

Los elementos principales de los pórticos, correspondientes a columnas y vigas de cubierta, están constituidos por perfiles tipo I (W), mientras que los elementos secundarios

incluyen correas en perfiles tipo C y diagonales en perfiles tubulares, lo que permite una adecuada distribución de cargas y rigidez estructural.

La cubierta presenta una configuración a dos aguas con pendiente uniforme, alcanzando alturas aproximadas de 6.85 m en columnas y 7.93 m en cumbrera, lo que corresponde a una pendiente cercana al 13%. Adicionalmente, la estructura incorpora sistemas de arriostramiento lateral y longitudinal que contribuyen al adecuado comportamiento frente a cargas gravitacionales y acciones sísmicas.

Desde el punto de vista del diseño sísmico, el sistema de resistencia está conformado por pórticos con capacidad de disipación de energía mínima (PRM-DMI), los cuales, según lo establecido en la NSR-10, son aplicables a estructuras de un piso con alturas inferiores a 20 m que no pertenecen al grupo de uso IV, permitiendo su implementación en zonas de amenaza sísmica.

En el marco de este proyecto, se desarrollaron actividades de revisión del modelo estructural, detallado, generación de planos de taller y montaje, así como el seguimiento del proceso de fabricación en planta, integrando herramientas de modelado BIM con los procesos constructivos

### **1.3 Área de trabajo del practicante.**

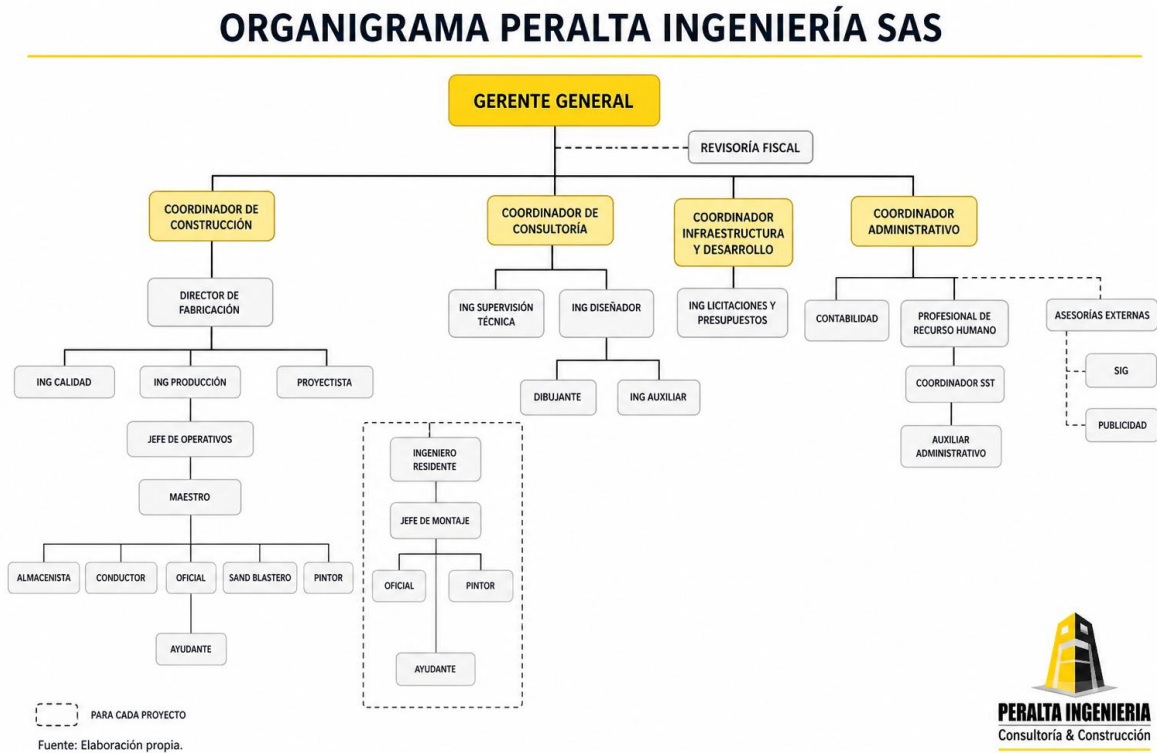
La práctica empresarial se desarrolló en el área de ingeniería y fabricación de estructuras metálicas de la empresa, donde se integran las actividades de diseño, modelado, detallado y coordinación con planta.

Esta área es responsable de la revisión de modelos estructurales, generación de planos de taller y montaje, cuantificación de materiales y apoyo en la planificación del proceso de fabricación, garantizando que la información técnica sea coherente y viable para su ejecución en planta.

### **1.4 Organigrama.**

Con el fin de comprender la estructura organizacional del proyecto y la interacción entre las diferentes áreas involucradas, se presenta el organigrama general, en el cual se identifican los roles y niveles jerárquicos que participaron en el desarrollo de la fabricación y montaje de la estructura metálica

Figura 1. Organigrama del proyecto.



## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo General

Apoyar el desarrollo del proyecto EMPAS en Peralta Ingeniería S.A.S., como auxiliar de ingeniería, mediante la elaboración y revisión de planos de taller y montaje, la generación de cantidades de obra y planos, el seguimiento técnico de los procesos de fabricación y montaje, con el fin de garantizar precisión en la documentación, eficiencia en la producción y cumplimiento en los cronogramas de ejecución.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

- Validar el modelo estructural recibido del área de diseño, verificando que el detallado cumpla con los criterios de factibilidad para la fabricación y el montaje.
- Definir y organizar los conjuntos y piezas estructurales de manera que se optimice el transporte, la manipulación y la instalación en obra.
- Generar cantidades de obra (perfiles, tornillería, pintura) y planos de corte de perfiles y platinas para el inicio del proceso de fabricación.

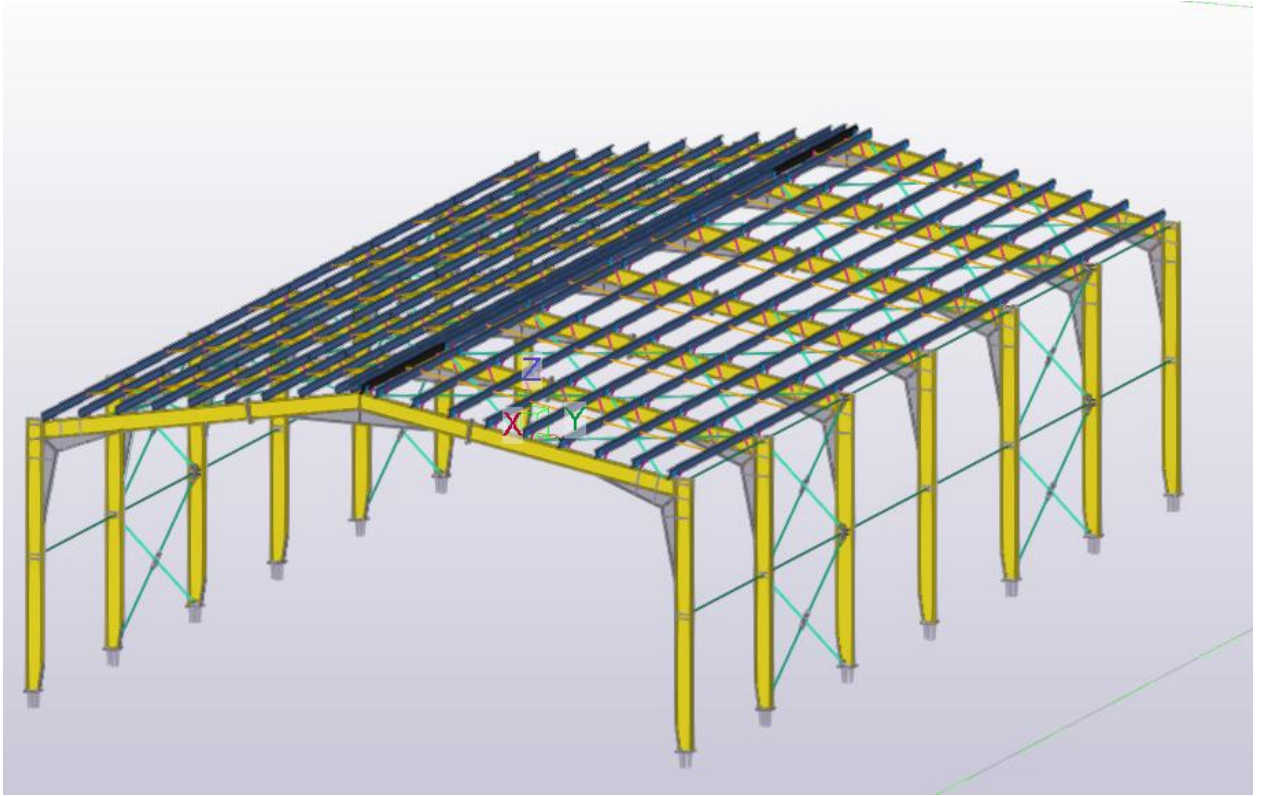
- Elaborar planos de taller, planos de conjuntos y planos de montaje que garanticen precisión y coherencia en la ejecución del proyecto.
- Realizar informes periódicos de avance de la fabricación y montaje, registrando porcentajes en actividades como corte, perforado, armado, soldadura y pintura, con el fin de asegurar un adecuado control del proyecto.

## **2. Desarrollo de la práctica por objetivos.**

### **2.1. Validación del modelo estructural.**

El desarrollo de la práctica empresarial inició con la recepción del modelo estructural tridimensional elaborado en el software Tekla Structures por parte del área de diseño. Este modelo constituye la base técnica del proyecto, ya que integra la información geométrica y constructiva necesaria para la fabricación y el montaje de la estructura metálica, en concordancia con metodologías de modelado de información de construcción (BIM) (Eastman et al., 2011). En esta etapa se realizó una revisión detallada del modelo, utilizando las herramientas de visualización del software, con el objetivo de verificar la coherencia del detallado estructural y su factibilidad para fabricación, transporte y montaje. Esta validación incluyó la inspección de conexiones, geometrías, interferencias entre elementos, duplicidad de partes y consistencia general del modelo. Asimismo, se comprobó que todas las uniones estuvieran correctamente definidas y modeladas de forma adecuada para su ejecución en planta (ver Figura 2).

**Figura 2.** Vista general del modelo estructural tridimensional en el software Tekla Structures.



Durante la revisión del modelo estructural se identificaron inconsistencias técnicas que afectaban la calidad del detallado. Entre las principales se encontraron conexiones incompletas o mal definidas, ausencia de elementos de unión en algunos nudos estructurales y duplicidad de partes dentro del modelo. Asimismo, se evidenció falta de coherencia en la organización de ciertos elementos lo cual generaba inconsistencias en la identificación y posterior documentación.

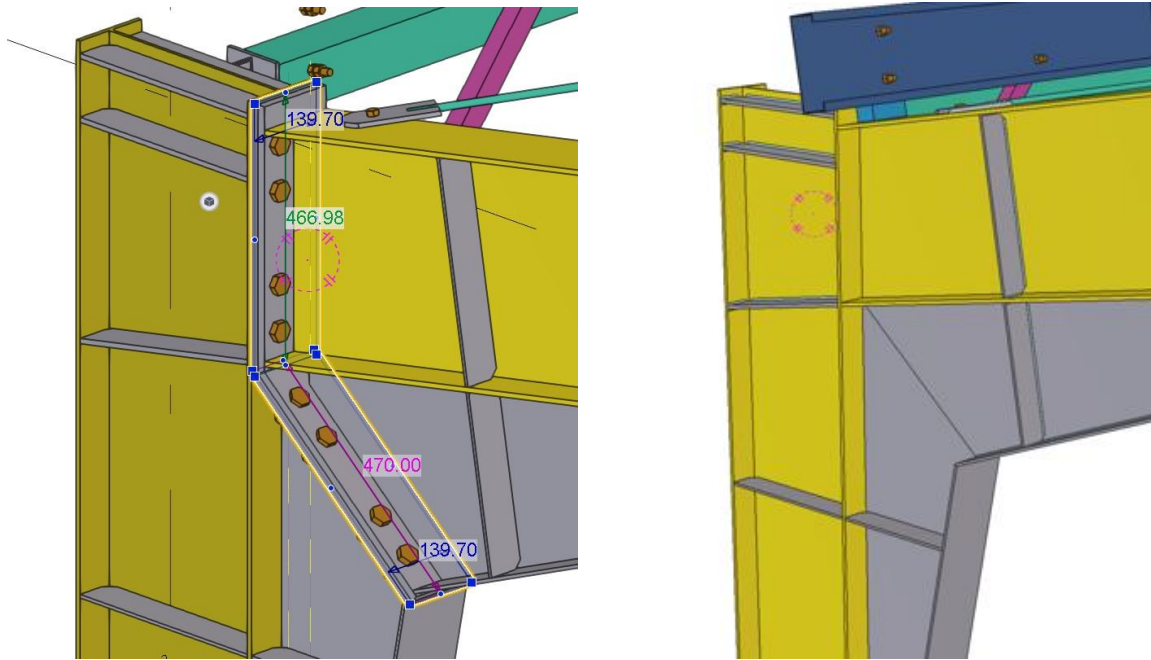
**Tabla 1.** Identificación de inconsistencias y soluciones implementadas en el modelo estructural

<b>Tipo de error</b>	<b>Descripción</b>	<b>Impacto en fabricación/montaje</b>	<b>Solución aplicada</b>
<b>Conexiones incompletas</b>	Nudos sin elementos de unión definidos	Imposibilidad de armado en planta	Modelado completo de conexiones en Tekla
<b>Duplicidad de elementos</b>	Piezas repetidas en el modelo	Sobreestimación de cantidades	Depuración y eliminación de duplicados
<b>Contravientos Sin detallar</b>	Elementos de contraviento, sin conexión definida.	Imposibilidad de fabricación e instalación en obra.	Se definió y modeló la conexión correspondiente, validando su viabilidad técnica en coordinación con el área de diseño
<b>Elementos de gran longitud</b>	Pórticos no transportables	Dificultad logística	División mediante uniones tipo brida

En la Tabla 1 se sintetizan las principales inconsistencias identificadas durante la revisión del modelo, junto con las acciones correctivas implementadas para garantizar su viabilidad en fabricación y montaje.

Adicionalmente, se identificó que algunos elementos principales, particularmente los pórticos, presentaban longitudes que dificultaban su transporte hacia obra. Como se resume en la Tabla 1, se implementó la división de estos elementos mediante uniones tipo brida en puntos estratégicos, facilitando su manipulación y optimizando las actividades de montaje (ver Figura 3).

**Figura 3.** Detalle de la implementación de uniones tipo brida en elementos estructurales, con el fin de facilitar el transporte y el montaje en obra.



Los hallazgos fueron analizados técnicamente y discutidos con el equipo de diseño estructural y el área de fabricación, desarrollando un proceso iterativo de ajuste del modelo hasta lograr su aprobación final.

Como resultado de esta etapa, se obtuvo un modelo estructural validado, coherente y apto para su uso en las fases posteriores del proyecto, garantizando su viabilidad para fabricación, transporte y montaje.

Las inconsistencias identificadas y las acciones correctivas implementadas se evidencian en las configuraciones presentadas en las imágenes del anexo A, donde se observa el paso de soluciones incompletas a conexiones completamente definidas y coherentes con los criterios constructivos del proyecto.

### **Actividades realizadas**

Las actividades desarrolladas en esta etapa se centraron en la revisión integral del modelo estructural en entorno tridimensional, abarcando la verificación de conexiones y uniones, la identificación de interferencias entre elementos y la detección de duplicidades dentro del

modelo. Asimismo, se evaluó la factibilidad del diseño desde el punto de vista constructivo, proponiendo ajustes técnicos que permitieran mejorar su comportamiento durante las etapas de fabricación y montaje, destacándose la incorporación de uniones tipo brida en elementos de gran longitud y la coordinación constante con las áreas de diseño y fabricación

### **Metodologías o herramientas utilizadas**

Para el desarrollo de esta actividad se emplearon metodologías basadas en la revisión digital del modelo estructural bajo el enfoque BIM, utilizando el software Tekla Structures como herramienta principal. El modelo fue trabajado y validado hasta un nivel de desarrollo LOD 400, lo que permitió contar con un grado de detalle suficiente para la definición precisa de elementos, conexiones y procesos constructivos.

A través de la visualización tridimensional, la inspección de conexiones y el análisis geométrico, fue posible evaluar la configuración de los elementos estructurales, su coherencia dentro del sistema constructivo y su viabilidad para fabricación y montaje.

De manera complementaria, la validación se apoyó en una revisión visual directa, verificando la presencia y correcta definición de conexiones, así como la identificación de elementos faltantes o duplicados. Se utilizó la herramienta de detección de interferencias (control de choques) para ubicar conflictos entre elementos, y se revisaron los reportes de cantidades con el fin de comprobar la coherencia en el peso y número de piezas.

En los casos donde se identificaron conexiones no definidas, se procedió a su modelado en Tekla Structures y a la revisión de la solución en conjunto con el área de diseño y fabricación, confirmando su viabilidad para fabricación y montaje.

### **Cronograma de actividades**

El desarrollo de la validación del modelo estructural se llevó a cabo durante las etapas iniciales de la práctica empresarial, con una duración aproximada de tres (3) semanas. Durante este periodo se ejecutaron las actividades de revisión del modelo, identificación de inconsistencias, planteamiento de soluciones y validación final. La distribución detallada de estas actividades se presenta en la tabla de cronograma correspondiente.

**Análisis técnico realizado**

El análisis técnico se centró en la verificación de la factibilidad constructiva del modelo estructural, evaluando la correcta definición de conexiones, la coherencia geométrica de los elementos y la ausencia de interferencias. Adicionalmente, se analizaron condiciones asociadas al transporte y montaje, lo que permitió identificar la necesidad de implementar soluciones como las uniones tipo brida, mejorando así la viabilidad del proyecto en condiciones reales de ejecución.

**Normativa aplicada**

Durante la validación del modelo estructural se consideraron criterios del Reglamento Colombiano NSR-10, particularmente en el detallado de elementos en acero, verificando aspectos como distancias mínimas a borde y espaciamentos en conexiones atornilladas según la tabla F.2.10.3-4.

Asimismo, se aplicaron lineamientos del AISC para conexiones estructurales, tomando como referencia disposiciones como la sección J3.4, además de criterios básicos para la definición de soldaduras en función del espesor de los elementos.

Esto permitió asegurar la coherencia geométrica del modelo y su compatibilidad con los requisitos normativos para fabricación y montaje.

Es importante precisar que el alcance del presente trabajo no incluyó el diseño estructural ni la verificación analítica mediante cálculos, ya que estas actividades corresponden al área de diseño. En este sentido, la aplicación de la normativa se enfocó en la revisión de criterios constructivos y de detallado, tales como la correcta disposición de conexiones, coherencia geométrica del modelo y viabilidad para fabricación y montaje, en concordancia con los lineamientos establecidos en la NSR-10 y especificaciones del AISC.

**Productos generados**

Como resultado de esta etapa se obtuvo un modelo estructural corregido y validado, junto con ajustes en la configuración de diversos elementos y la definición de soluciones constructivas específicas como la incorporación de uniones tipo brida.

**Aportes a la empresa**

El desarrollo de esta actividad representó un aporte significativo para la empresa, al mejorar la calidad del modelo estructural recibido, reducir posibles errores en los procesos de fabricación y montaje, y optimizar aspectos logísticos relacionados con el transporte de los elementos estructurales. Asimismo, se fortaleció el proceso de toma de decisiones técnicas dentro del proyecto.

Como resultado del proceso de validación, se establecieron criterios de revisión del modelo enfocados en la verificación de conexiones, control de interferencias, coherencia geométrica y organización de elementos, los cuales pueden ser utilizados como base para futuras revisiones de modelos estructurales dentro de la empresa, contribuyendo a la estandarización del proceso y reducción de reprocesos.

Adicionalmente, se evidenció una mejora en la eficiencia del proceso, asociada a la reducción de reprocesos en etapas de generación de planos y fabricación, como resultado de la mayor definición y organización del modelo estructural. Esta optimización facilitó la interpretación de la información técnica en planta y contribuyó a un flujo de trabajo más ordenado.

**Indicadores de desempeño**

Como indicadores de desempeño se destacan la identificación y corrección de inconsistencias en el modelo estructural, así como el ajuste progresivo del mismo hasta alcanzar un nivel de desarrollo compatible con LOD 400, garantizando un grado de detalle adecuado para su utilización en procesos de fabricación y montaje.

Adicionalmente, se resalta la implementación de soluciones orientadas a mejorar la constructibilidad del proyecto, como la incorporación de uniones tipo brida en elementos de gran longitud, así como la reducción de errores en la generación de planos derivados del modelo. En

conjunto, estos aspectos permitieron consolidar el modelo estructural como una base técnica confiable para el desarrollo de las etapas posteriores del proyecto

## **2.2. Definición y organización de conjuntos y piezas estructurales**

Una vez validado el modelo estructural, se procedió a la definición y organización de los conjuntos y piezas estructurales, con el objetivo de optimizar los procesos de fabricación, transporte y montaje en obra. Esta etapa es fundamental dentro del flujo de trabajo en estructuras metálicas, ya que permite garantizar la coherencia entre el modelo digital, la documentación técnica y la ejecución en planta y en campo.

Dentro del modelo estructural, se entiende como parte cada elemento individual que compone la estructura, tales como vigas, columnas, correas, diagonales, platinas y elementos de conexión, mientras que un conjunto estructural corresponde a la agrupación de varias partes que funcionan como una unidad constructiva, como es el caso de pórticos, marcos o sistemas de arriostramiento. Esta descomposición del sistema estructural en partes y subconjuntos es consistente con los principios del detallado estructural, donde la organización adecuada de los elementos permite mejorar la eficiencia en la fabricación y el montaje.

Durante esta etapa se identificó que algunos elementos dentro del modelo no presentaban una codificación homogénea ni una organización consistente, lo cual generaba dificultades en la identificación de piezas, la generación de planos y la trazabilidad de la información. En consecuencia, se realizó un proceso de revisión y unificación de criterios de codificación, estableciendo un sistema estructurado que permitiera organizar adecuadamente los elementos dentro del modelo.

La codificación se realizó mediante el uso de prefijos definidos por la empresa, que permiten identificar el tipo de elemento estructural. Entre los principales se encuentran **PP** para partes tipo platina, **PV** para partes tipo viga, **PC** para partes tipo columna, así como **CC** para conjunto columna, **CCO** para conjunto correa y **CRT** para conjunto arriostramiento. Esta nomenclatura permitió establecer una relación directa entre el modelo estructural, los planos de taller, los planos de conjunto y los procesos de fabricación, facilitando la trazabilidad de la información técnica en el proyecto.

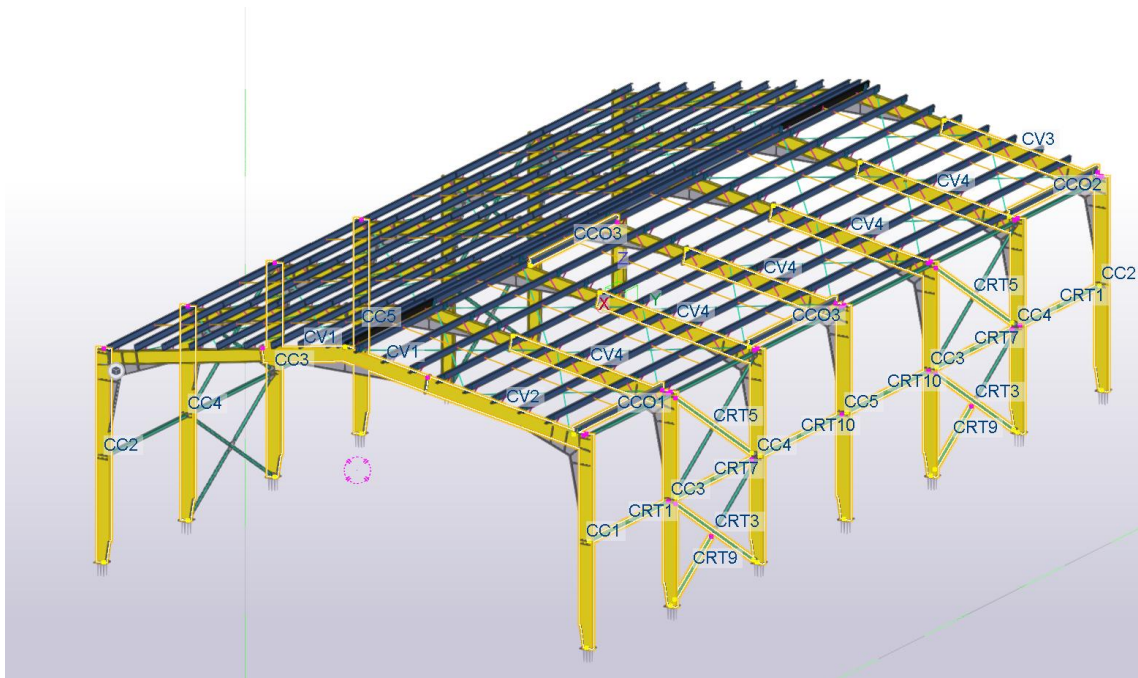
Adicionalmente, la organización de los elementos se realizó considerando criterios constructivos y logísticos, tales como dimensiones, peso, facilidad de manipulación, secuencia

de montaje y condiciones de transporte. Esto permitió estructurar el modelo de manera coherente con las condiciones reales de ejecución, facilitando la interpretación de la información por parte del personal en planta y en obra.

Desde el enfoque de modelado BIM, la correcta organización de la información dentro del modelo permite mejorar la coordinación entre las diferentes etapas del proyecto, reducir inconsistencias en la documentación y optimizar los procesos constructivos (Eastman et al., 2011). En este sentido, la estructuración de partes y conjuntos no solo cumple una función organizativa, sino que constituye un elemento clave para la gestión integral de la información del proyecto.

Como resultado de esta etapa, se obtuvo un modelo estructural organizado y codificado de manera coherente, lo que permitió mejorar la trazabilidad de los elementos, reducir la probabilidad de errores en la generación de planos y facilitar la integración entre el modelo digital y los procesos de fabricación y montaje.

**Figura 4.** Codificación y organización de conjuntos estructurales en el modelo desarrollado en Tekla Structures.



### **Actividades realizadas**

Las actividades desarrolladas en esta etapa consistieron en la revisión de la identificación de partes y conjuntos dentro del modelo estructural, la unificación de criterios de codificación, la asignación de prefijos según el tipo de elemento y la reorganización de los elementos estructurales en función de criterios de fabricación, transporte y montaje. Asimismo, se verificó la coherencia de la información generada desde el modelo para su uso en planos y listados de materiales.

### **Metodologías o herramientas utilizadas**

Para el desarrollo de esta actividad se empleó principalmente el software Tekla Structures, mediante el cual se realizó la revisión de propiedades de partes y conjuntos, la modificación de marcas y prefijos, y la organización de los elementos dentro del modelo estructural. Esta actividad se desarrolló bajo un enfoque de modelado BIM, orientado a garantizar la correcta gestión de la información técnica y su integración con los procesos de fabricación y montaje (Eastman et al., 2011).

### **Cronograma de actividades**

La definición y organización de conjuntos y piezas estructurales se llevó a cabo una vez finalizada la validación del modelo, durante una etapa inicial de la práctica empresarial, con una duración aproximada de una semana. En este periodo se desarrollaron actividades de revisión, ajuste de codificación, reorganización de elementos y verificación de la consistencia del modelo.

### **Análisis técnico realizado**

El análisis técnico de esta etapa permitió evidenciar que la correcta organización del modelo estructural tiene un impacto directo sobre la calidad de la información técnica generada. Una codificación inadecuada puede generar errores en la identificación de partes, duplicidades en los listados de materiales y dificultades en la interpretación de planos, lo que puede derivar en reprocesos en fabricación y montaje.

Por el contrario, una adecuada estructuración de partes y conjuntos mejora la coherencia documental, facilita la trazabilidad de los elementos y optimiza la secuencia constructiva. En este

sentido, la organización del modelo no solo responde a un criterio documental, sino también a un criterio técnico y constructivo que influye directamente en la eficiencia del proyecto.

### **Normativa aplicada**

Aunque la definición de partes y conjuntos corresponde principalmente a un proceso de organización del modelo, esta actividad se desarrolló considerando criterios técnicos asociados a la fabricación y montaje de estructuras metálicas, en concordancia con los lineamientos del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 para estructuras de acero.

Adicionalmente, se tuvieron en cuenta principios de detallado estructural y coordinación de información propios de estándares internacionales como los del American Institute of Steel Construction (AISC), así como lineamientos de gestión de información en entornos BIM, relacionados con la trazabilidad y coherencia documental en proyectos de construcción (Eastman et al., 2011).

### **Productos generados**

Como resultado de esta etapa se obtuvo un modelo estructural organizado y codificado de manera estandarizada, con una clara definición de partes y conjuntos estructurales, lo que permitió mejorar la generación de planos, listados de materiales y documentación técnica para fabricación.

### **Aportes a la empresa**

Durante esta etapa se trabajó bajo los lineamientos de codificación y nomenclatura definidos por la empresa para la identificación de partes y conjuntos estructurales. Su aplicación permitió mantener la coherencia del modelo, asegurar la trazabilidad de los elementos y la correspondencia entre el modelo, los planos y los procesos de fabricación.

No se desarrolló un documento formal tipo manual; sin embargo, se aplicaron criterios de organización, codificación y estructuración del modelo en Tekla Structures, los cuales contribuyen a evitar inconsistencias y pueden servir como base para futuros proyectos.

### **Indicadores de desempeño**

Como indicadores de desempeño se destacan la unificación de criterios de codificación dentro del modelo, la reducción de inconsistencias en la identificación de partes y conjuntos, y la mejora en la coherencia entre el modelo estructural y la documentación técnica generada. Estos aspectos permitieron consolidar una base de información confiable para el desarrollo de las etapas posteriores del proyecto.

### **2.3. Generación de cantidades de obra y planos de corte**

Durante el desarrollo del proyecto, la generación de cantidades de obra se realizó a partir del modelo estructural en Tekla Structures, permitiendo obtener información precisa de perfiles, platinas y demás elementos requeridos para la fabricación.

A partir de este modelo, se extrajeron las cantidades en términos de peso y número de piezas, las cuales fueron utilizadas como base para la solicitud de materiales y la planificación del proceso productivo. No obstante, estas cantidades no se tomaron de manera directa, sino que fueron analizadas considerando criterios de optimización.

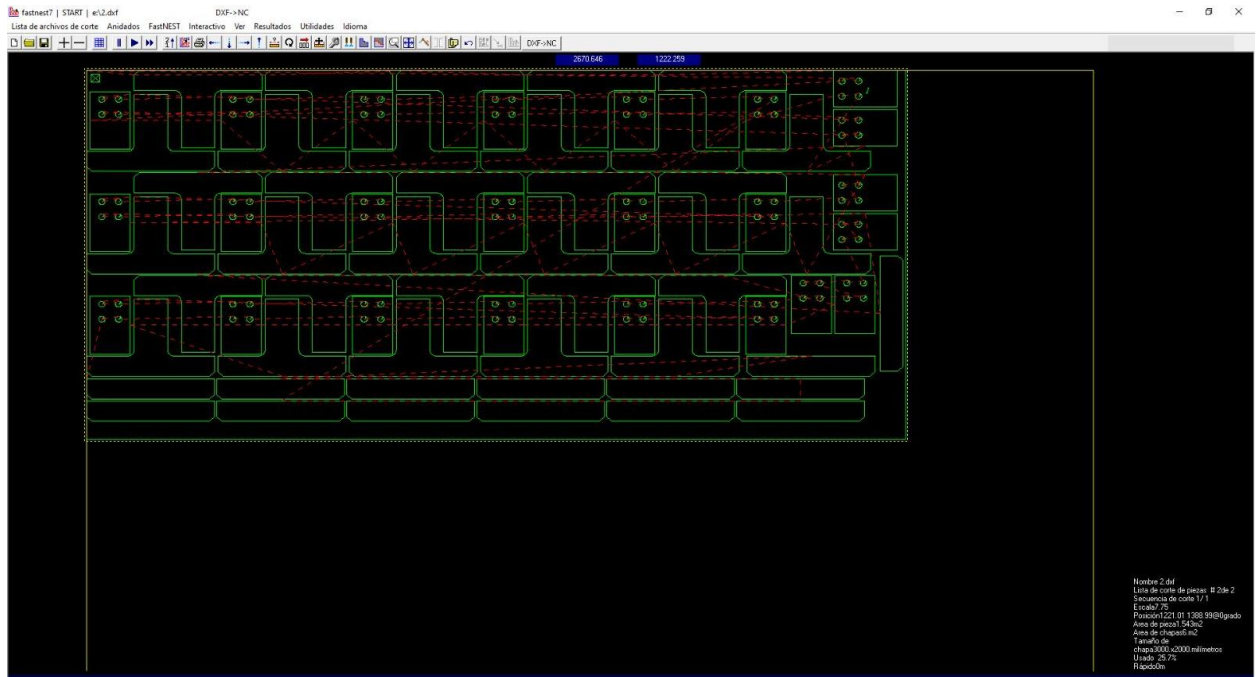
En el caso de los perfiles estructurales, se evaluó la conveniencia de utilizar longitudes comerciales de 6 m o 12 m, con el fin de reducir desperdicios. Este análisis se complementó con la revisión de un inventario de retales disponible en la empresa, el cual se encontraba registrado en hojas de cálculo que indicaban tipo de perfil, longitud y proyecto de origen. Esto permitió reutilizar material existente y disminuir la cantidad de material a adquirir.

Para las platinas, el proceso incluyó la generación de planos de corte organizados por espesores, en los cuales se especificaban dimensiones, perforaciones y códigos de cada pieza. Estos planos servían como base para el proceso de corte y para el control de producción en planta.

El nesting es un proceso de optimización en el cual se organiza la geometría de múltiples piezas sobre una lámina de material, con el objetivo de maximizar su aprovechamiento y reducir desperdicios durante el corte. En el contexto de estructuras metálicas, este proceso permite definir la disposición más eficiente de platinas y componentes sobre láminas comerciales, considerando sus dimensiones y restricciones de fabricación. En este caso, las piezas se organizaron sobre láminas de 4×8 ft o 8×20 ft, buscando una distribución óptima del material. Para ello, las geometrías fueron exportadas desde Tekla Structures a formato DWG y

posteriormente organizadas en AutoCAD antes de su procesamiento en el software de la máquina de corte. Este tipo de optimización es ampliamente utilizado en procesos de manufactura para mejorar la eficiencia del uso de materiales (Groover, 2010).

**Figura 5.** Nesting de platinas 9 mm EMPAS en el programa de la máquina de corte.



Una vez definido el nesting, se generaban archivos en formato TXT compatibles con la máquina CNC, los cuales contenían la información necesaria para ejecutar el corte. Adicionalmente, se elaboraban planos de apoyo para el operario, indicando la disposición de las piezas, número de láminas requeridas y elementos a cortar.

Este procedimiento permitió integrar el modelo estructural con el proceso de fabricación, garantizando precisión en el corte, reducción de desperdicios y mejor planificación del uso del material.

### Actividades realizadas

Las actividades desarrolladas en esta etapa incluyeron la extracción de cantidades de obra desde el modelo estructural, el análisis de optimización de compra de perfiles según longitudes comerciales, la verificación de inventarios de retales en planta, la elaboración de formatos de solicitud de materiales, la coordinación con el área de compras, la generación de planos de partes de platinas por espesores, la exportación de piezas a formato .dwg, el desarrollo de nesting en

AutoCAD, la generación de archivos .txt para corte CNC y la elaboración de planos de apoyo para el personal operativo en planta.

### **Metodologías o herramientas utilizadas**

Para el desarrollo de esta etapa se emplearon herramientas como Tekla Structures para la generación de planos y extracción de cantidades, AutoCAD para la optimización del nesting de platinas, hojas de cálculo en Excel para el control de inventarios y retales, y el software propio de la mesa de corte CNC para la generación de archivos de corte. Estas herramientas se integraron bajo un enfoque BIM (Eastman et al., 2011).

### **Cronograma de actividades**

La generación de cantidades de obra y planos de corte se desarrolló en una etapa intermedia de la práctica empresarial, posterior a la validación y organización del modelo estructural, con una duración aproximada de dos a tres semanas.

### **Análisis técnico realizado**

El análisis técnico permitió evidenciar que la gestión adecuada de materiales es determinante en la eficiencia del proceso de fabricación. La selección de longitudes comerciales, junto con el aprovechamiento de retales disponibles en inventario, contribuye a la reducción de desperdicios y optimización de costos. Asimismo, la optimización del nesting permite maximizar el aprovechamiento del material, mientras que la correcta generación de archivos CNC garantiza precisión en el corte y reduce errores en planta.

### **Normativa aplicada**

El proceso de nesting se desarrolló bajo criterios de manufactura orientados al aprovechamiento del material y a la viabilidad del corte en máquina CNC. Para ello, se consideraron aspectos como la distribución eficiente de las piezas sobre láminas comerciales, la reducción de desperdicios y la organización de geometrías de acuerdo con las condiciones de corte en planta.

Asimismo, se tuvieron en cuenta lineamientos operativos definidos por la empresa y las condiciones propias del equipo de corte, garantizando que la disposición de las piezas fuera

adecuada para su fabricación. Este tipo de optimización se fundamenta en principios de manufactura orientados a la eficiencia en el uso de materiales (Groover, 2010).

### **Productos generados**

Se obtuvieron listados de materiales optimizados, planos de partes de platinas organizados por espesores, archivos en formato .txt para corte CNC, planos de apoyo para fabricación y registros actualizados de control de inventarios.

### **Aportes a la empresa**

Esta actividad permitió optimizar la gestión de materiales mediante el aprovechamiento de inventarios existentes, mejorar la precisión en la solicitud de materiales, reducir desperdicios y aumentar la eficiencia del proceso de fabricación.

### **Indicadores de desempeño**

Se destacan la precisión en las cantidades generadas, la optimización en la compra de perfiles, el aprovechamiento de retales disponibles, la correcta generación de archivos CNC y la reducción de errores en el proceso de fabricación.

## **2.4. Elaboración de planos de taller, planos de conjuntos, preensamble y montaje**

Una vez generadas las cantidades de obra y definida la organización de los elementos dentro del modelo estructural, se procedió a la elaboración de planos de taller, planos de conjuntos, planos de preensamble y planos de montaje, los cuales constituyen la base documental para la fabricación en planta y la ejecución en obra.

La elaboración de estos planos se realizó a partir del modelo estructural desarrollado en Tekla Structures, el cual, al encontrarse en un nivel de desarrollo LOD 400, permitía contar con un grado de detalle suficiente para la generación de documentación técnica precisa y coherente con las condiciones reales de fabricación y montaje.

Los planos de taller fueron desarrollados con el objetivo de proporcionar la información necesaria para la fabricación individual de cada elemento estructural, incluyendo dimensiones, perforaciones, cortes, tipos de soldadura y demás especificaciones requeridas para su producción. Dentro de esta categoría se incluyen los planos de corte previamente mencionados, los cuales, aunque fueron desarrollados en una etapa anterior del proceso, hacen parte integral de la

documentación de taller. Su elaboración anticipada respondió a la necesidad de optimizar los tiempos de producción, permitiendo adelantar procesos de corte en máquina CNC utilizando material disponible en inventario, incluso antes de la llegada de nuevos suministros.

Por su parte, los planos de conjuntos constituyen uno de los elementos más importantes dentro del proceso de fabricación, ya que en ellos se define la manera en que las partes individuales se integran para conformar un elemento estructural completo. En estos planos no solo se representa la geometría del conjunto, sino que también se incluye información crítica como el tipo de soldadura a aplicar, su ubicación, tamaño y forma de ejecución, así como detalles constructivos específicos.

Dentro de estos detalles se incluyen aspectos como el uso de platinas de respaldo en empalmes de perfiles, condiciones en las cuales deben ser utilizadas, espesores de soldadura, dimensiones de perforaciones y, especialmente, las distancias entre perforaciones. Este último aspecto es fundamental, ya que la correcta relación geométrica entre los huecos garantiza el adecuado ensamblaje de los elementos en obra. Incluso en presencia de pequeñas tolerancias en el corte de las piezas, el cumplimiento de estas distancias permite que los elementos coincidan correctamente durante el montaje, asegurando la continuidad estructural.

Posteriormente, se desarrollaron los planos de preensamble en planta, los cuales permitieron verificar la correcta geometría de los elementos estructurales antes de su envío a obra. En el caso específico del proyecto, los pórticos fueron preensamblados en planta, tomando como referencia el primer pórtico fabricado, el cual funcionó como patrón o matriz de control.

A partir de este pórtico inicial, se verificaron dimensiones globales y diagonales entre extremos, garantizando que los demás pórticos mantuvieran la misma geometría. Este procedimiento permitió reducir la necesidad de mediciones repetitivas y asegurar la uniformidad de los elementos fabricados. Aunque los conjuntos presentaban diferencias en componentes secundarios, como platinas o elementos de conexión, la geometría principal del marco estructural se mantuvo constante, facilitando el proceso de fabricación y posterior montaje.

Finalmente, los planos de montaje fueron elaborados con el fin de representar la disposición espacial de los elementos en obra, incluyendo ejes, niveles, identificación de piezas y relaciones entre los distintos componentes estructurales. Estos planos permiten orientar la secuencia de instalación y garantizar que el montaje se realice de manera ordenada, reduciendo interferencias y errores en campo.

Asimismo, se verificó que todos los planos generados fueran coherentes con la codificación previamente establecida en el modelo, garantizando la trazabilidad entre partes, conjuntos y documentación técnica, lo cual es fundamental para la correcta interpretación de la información en planta y en obra.

### **Actividades realizadas**

Las actividades desarrolladas en esta etapa incluyeron la generación de planos de taller, la elaboración de planos de conjuntos con definición de soldaduras y detalles constructivos, la preparación de planos de preensamble en planta, la generación de planos de montaje y la verificación de la coherencia entre los planos y el modelo estructural.

### **Metodologías o herramientas utilizadas**

Para el desarrollo de esta etapa se utilizó principalmente el software Tekla Structures, mediante el cual se generaron los planos a partir del modelo estructural. Se emplearon herramientas de configuración de vistas, acotado, generación automática de planos y control de numeración de elementos.

Esta actividad se desarrolló bajo un enfoque BIM, en el cual el modelo estructural actúa como fuente única de información, garantizando la consistencia entre diseño, documentación y fabricación (Eastman et al., 2011).

### **Cronograma de actividades**

La elaboración de planos de taller, conjuntos, preensamble y montaje se desarrolló en una etapa posterior a la generación de cantidades de obra, con una duración aproximada de tres a cuatro semanas.

### **Análisis técnico realizado**

El análisis técnico permitió evidenciar que la correcta secuencia entre planos de taller, conjuntos, preensamble y montaje es determinante en la calidad del proceso constructivo. La definición adecuada de detalles en los planos de conjunto, especialmente en lo relacionado con soldaduras y distancias entre perforaciones, garantiza la correcta interacción entre los elementos estructurales.

Asimismo, el preensamble en planta permitió controlar la geometría de elementos repetitivos, reduciendo desviaciones y evitando ajustes en obra. La planificación anticipada de planos de corte también contribuyó a optimizar los tiempos de fabricación y mejorar la eficiencia del proceso productivo.

### **Normativa aplicada**

Durante la elaboración de planos se consideraron criterios de detallado estructural establecidos en la NSR-10 para estructuras metálicas y en el American Institute of Steel Construction (AISC), particularmente en lo relacionado con la definición de conexiones, dimensionamiento de perforaciones y tolerancias de fabricación.

Adicionalmente, para la especificación, representación y ejecución de soldaduras, se aplicaron los lineamientos del código AWS D1.1 (Structural Welding Code – Steel), el cual establece criterios para el diseño, tamaño, tipo y calidad de las uniones soldadas, así como los requisitos de inspección y control de calidad en procesos de fabricación.

Asimismo, se tuvieron en cuenta buenas prácticas de documentación técnica orientadas a garantizar la claridad, precisión y correcta interpretación de la información en planta y en obra.

### **Productos generados**

Se obtuvieron planos de taller, planos de conjuntos, planos de preensamble y planos de montaje, así como documentación técnica completa para la fabricación y ejecución del proyecto.

### **Aportes a la empresa**

Esta actividad permitió mejorar la organización del proceso de fabricación, optimizar tiempos mediante la anticipación de planos de corte, garantizar la calidad geométrica mediante preensamble y facilitar el montaje en obra mediante documentación clara y coherente.

### **Indicadores de desempeño**

Se destacan la reducción de errores en fabricación y montaje, la correcta alineación geométrica de los elementos estructurales, la optimización en los tiempos de producción y la coherencia entre el modelo y la documentación técnica.

### **2.5. Seguimiento y control del proceso de fabricación**

Durante la ejecución del proyecto se implementó un sistema de seguimiento y control del proceso de fabricación, con el fin de monitorear el avance en planta, identificar desviaciones y garantizar el cumplimiento de los tiempos de producción. Este tipo de control es fundamental en procesos de fabricación de estructuras metálicas, ya que permite asegurar la trazabilidad de los elementos y la coherencia entre el modelo digital y la ejecución en planta (Eastman et al., 2011).

El control del avance se realizó principalmente con base en el peso de los elementos estructurales (kg), lo que permitió establecer una medida objetiva del progreso del proyecto. A partir del modelo desarrollado en Tekla Structures, se asignaron atributos a cada elemento que indicaban su estado dentro del proceso productivo, tales como corte, armado, soldadura, limpieza y pintura. Cada uno de estos estados se representó mediante un código de colores, permitiendo obtener una visualización clara y actualizada del avance del proyecto directamente en el modelo.

Esta representación visual facilitó la identificación de zonas críticas, cuellos de botella y elementos pendientes dentro del proceso de fabricación, permitiendo una toma de decisiones más eficiente.

Adicionalmente, se utilizó una aplicación interna de control de calidad, en la cual el personal técnico encargado validaba el cumplimiento de cada etapa del proceso. A través de esta herramienta, se registraba el estado de los conjuntos estructurales, indicando si estos se encontraban listos para la siguiente actividad, por ejemplo, armado, soldadura o limpieza. Esta validación permitió garantizar que cada elemento cumpliera con los requisitos de calidad antes de avanzar en la cadena productiva, en concordancia con prácticas de aseguramiento de calidad en fabricación metálica (AWS, 2020).

La información proveniente de esta aplicación fue utilizada para actualizar el modelo en Tekla Structures, asegurando la coherencia entre el estado real en planta y la representación digital del proyecto.

El seguimiento del avance también se realizó mediante hojas de cálculo en Excel, en las cuales se consolidaba la información diaria de producción. A partir de filtros aplicados en el modelo estructural, se obtenía el peso de los elementos correspondientes a cada etapa del proceso, permitiendo calcular el porcentaje de avance por actividad y el avance global del proyecto.

### **Definición de etapas del proceso productivo**

Para el control del avance se definieron las siguientes etapas del proceso:

- Modelamiento y planos de fabricación
- Corte y perforado
- Armado
- Soldadura
- Limpieza
- Pintura

Adicionalmente, el despacho de los elementos fue incluido dentro de los reportes, aunque no se le asignó un porcentaje dentro del avance total del proyecto.

Cada una de estas etapas fue ponderada en función de su importancia dentro del proceso productivo. Para el proyecto en estudio, se establecieron los siguientes porcentajes de participación:

- Modelamiento, planos y recepción de material: 10%
- Corte y perforado: 15%
- Armado: 25%
- Soldadura: 15%
- Limpieza: 20%
- Pintura: 15%

Esta distribución permitió reflejar de manera más realista el esfuerzo requerido en cada etapa, siendo el proceso de armado uno de los más representativos debido a la necesidad de preensamble y control geométrico de los elementos.

### **Metodología de seguimiento**

El seguimiento del avance se realizó mediante la combinación de herramientas digitales y reportes operativos. Diariamente se actualizaba el estado de los elementos en el modelo estructural, con base en la información proveniente del sistema de control de calidad y la observación directa en planta.

A partir de esta información, se generaban reportes diarios de producción, en los cuales se registraba:

- Peso (kg) fabricado por proceso
- Porcentaje de avance por actividad
- Avance global del proyecto
- Número de trabajadores operativos asignados

Este tipo de control permite evaluar la productividad y eficiencia del proceso de fabricación, facilitando la toma de decisiones en entornos industriales (Kotlík, 2019).

### **Actividades realizadas**

Las actividades desarrolladas incluyeron la actualización diaria del estado de los elementos en el modelo estructural, la verificación de la información proveniente del sistema de control de calidad, la generación de filtros por procesos, el cálculo del avance en términos de peso y porcentaje, la consolidación de información en hojas de cálculo y la elaboración de reportes diarios.

### **Metodologías o herramientas utilizadas**

Para el desarrollo de esta actividad se utilizaron herramientas como Tekla Structures para la visualización y control del estado de los elementos, una aplicación interna de control de calidad para la validación de procesos en planta y hojas de cálculo en Excel para la consolidación y análisis de la información.

Estas herramientas se integraron bajo un enfoque BIM, permitiendo la sincronización entre el modelo digital y el proceso productivo (Eastman et al., 2011).

### **Cronograma de actividades**

El seguimiento y control del proceso de fabricación se desarrolló de manera continua durante toda la etapa de producción en planta, mediante la actualización diaria del avance y la generación de reportes periódicos.

### **Análisis técnico realizado**

El análisis del proceso de seguimiento permitió evidenciar que el uso del peso como unidad de control proporciona una medida objetiva del avance del proyecto, especialmente en estructuras metálicas, donde la carga de trabajo está directamente relacionada con la cantidad de material procesado.

Asimismo, la integración entre el modelo estructural, los sistemas de control de calidad y las herramientas de análisis permitió mejorar la trazabilidad de la información y garantizar la coherencia entre el estado real de fabricación y su representación digital.

Se identificó que la etapa de armado representa un punto crítico del proceso, debido a la necesidad de garantizar la correcta geometría de los elementos mediante preensamble, lo cual puede impactar los tiempos de producción. Por otro lado, la visualización del avance mediante códigos de color permitió identificar retrasos y optimizar la planificación de actividades

### **Problemas identificados y soluciones**

Durante el proceso de fabricación se presentaron dificultades asociadas a retrasos en la llegada de materiales, reprocesos por errores en corte y dificultades en la identificación de elementos en planta.

Para mitigar estos problemas, se implementaron estrategias como la anticipación de procesos de corte utilizando material disponible en inventario, el fortalecimiento del control de calidad por etapas y el uso del modelo estructural como herramienta visual para la identificación y seguimiento de elementos.

### **Normativa aplicada**

El seguimiento del proceso se apoyó en principios de trazabilidad y control de calidad en fabricación de estructuras metálicas, en concordancia con lineamientos del código **AWS D1.1**,

especialmente en lo relacionado con inspección de soldaduras y validación de procesos, así como en metodologías BIM para la gestión de la información (Eastman et al., 2011).

### **Productos generados**

Se obtuvieron reportes diarios de avance, control de producción por proceso, registros del estado de los elementos en el modelo estructural y bases de datos para el seguimiento del proyecto.

### **Aportes a la empresa**

Esta actividad permitió mejorar el control del proceso de fabricación, optimizar la toma de decisiones en planta, identificar retrasos de manera oportuna y aumentar la eficiencia del proceso productivo.

### **Indicadores de desempeño**

Se destacan como indicadores el porcentaje de avance del proyecto, el peso fabricado por día, la productividad del personal operativo y la distribución del avance por procesos.

## **3. Análisis de la experiencia**

### **3.1 Aprendizajes técnicos**

Durante la práctica empresarial se adquirieron conocimientos aplicados al modelado, detallado y fabricación de estructuras metálicas, destacándose el uso de Tekla Structures para el desarrollo de modelos en nivel LOD 400 y la generación de planos de taller, conjuntos y montaje.

Se comprendió la relación directa entre el modelo estructural y el proceso de fabricación, evidenciando que la calidad del modelo influye en la precisión de los planos, la eficiencia del corte y el correcto montaje en obra.

Asimismo, se fortaleció el análisis de cantidades de obra, incorporando criterios de optimización como la selección de longitudes comerciales y el aprovechamiento de retales, resaltando la importancia de la gestión de materiales en entornos reales.

En el proceso de fabricación, se consolidó la interpretación de planos de conjunto, especialmente en la definición de soldaduras, perforaciones y detalles constructivos necesarios para garantizar el correcto ensamblaje de los elementos.

Finalmente, se adquirió experiencia en el uso de herramientas de control de producción, mediante metodologías de seguimiento basadas en el peso de los elementos y la visualización del avance en el modelo estructural.

### **3.2 Competencias desarrolladas**

Durante la práctica se fortalecieron competencias técnicas y profesionales orientadas al sector de estructuras metálicas.

En el ámbito técnico, se consolidó la capacidad de modelado estructural, generación de planos de fabricación y comprensión de procesos productivos. Asimismo, se desarrolló la habilidad para interpretar información técnica y tomar decisiones relacionadas con la optimización de materiales y procesos.

En el ámbito profesional, se fortalecieron competencias como el trabajo en equipo, la comunicación con áreas de diseño, fabricación, compras y calidad, y la adaptación a condiciones reales de producción.

Adicionalmente, se desarrollaron habilidades de análisis y resolución de problemas, especialmente frente a retrasos en materiales, reprocesos y control de calidad, así como la capacidad de organización mediante el seguimiento del avance y la elaboración de reportes.

### **3.3 Dificultades y soluciones**

Durante la práctica se presentaron dificultades asociadas al entorno de fabricación.

Una de las principales fue la disponibilidad de materiales, la cual generó retrasos en la producción. Como solución, se implementó la anticipación de procesos de corte utilizando material disponible en inventario, permitiendo mantener la continuidad del proceso.

También se presentaron reprocesos por errores en fabricación. Para mitigarlos, se fortaleció el control de calidad mediante validación por etapas y el uso de herramientas digitales para la identificación de elementos.

Adicionalmente, se evidenciaron dificultades en la interpretación de planos por parte del personal operativo. Como respuesta, se priorizó la generación de planos más claros y el uso del modelo estructural como apoyo visual.

Finalmente, el control geométrico de elementos repetitivos representó un reto, el cual fue abordado mediante preensambles en planta, garantizando uniformidad y reduciendo ajustes en obra.

### **3.4 Recomendaciones**

Se recomienda fortalecer la integración entre el modelo estructural y los procesos de fabricación, promoviendo su uso como herramienta principal de control y seguimiento.

Asimismo, es importante continuar implementando estrategias de optimización de materiales, como el aprovechamiento de retales y la selección adecuada de longitudes comerciales, con el fin de reducir costos y desperdicios.

Se sugiere mejorar la comunicación entre las áreas de diseño, fabricación y compras, para optimizar la planificación y reducir retrasos.

Igualmente, se recomienda fortalecer el control de calidad en planta, asegurando la validación de cada etapa del proceso en concordancia con estándares como AWS D1.1.

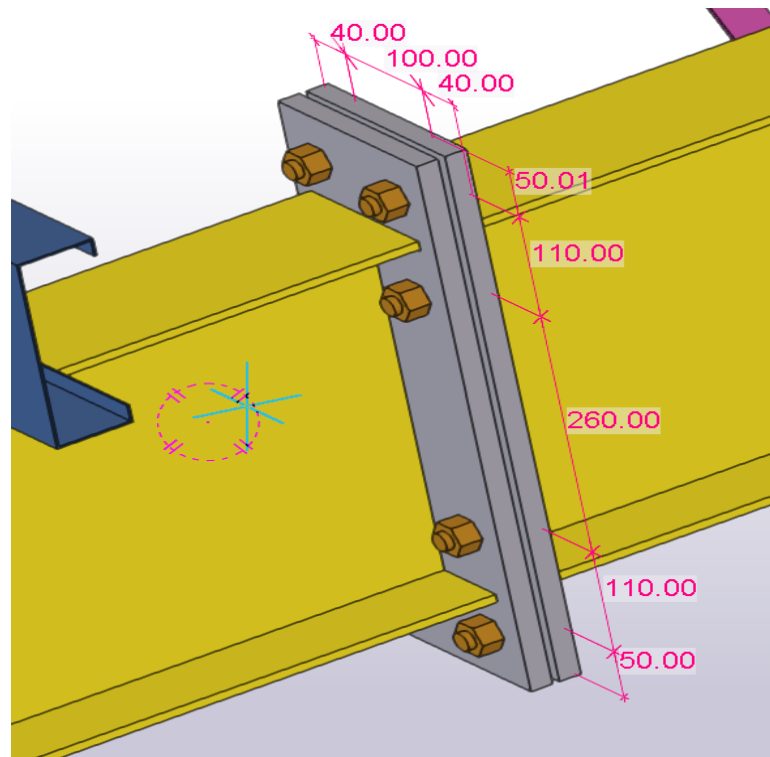
Finalmente, se propone estandarizar procedimientos como el preensamble en planta y el control de avance mediante modelos digitales, dado su impacto en la eficiencia y calidad del proyecto.

**Referencias Bibliográficas**

- American Institute of Steel Construction. (2016). *Steel Construction Manual*. 15.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*. Wiley.
- Groover, M. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing*. Wiley.
- Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. Wiley.
- Kulak, G., Fisher, J., & Struik, J. (2001). *Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints*. American Institute of Steel Construction.
- Salmon, C., & Johnson, J. (2009). *Steel Structures Design and Behavior*. Pearson.
- SSPC. (2007). *Surface Preparation Specification No. 10: Near-White Metal Blast Cleaning*.

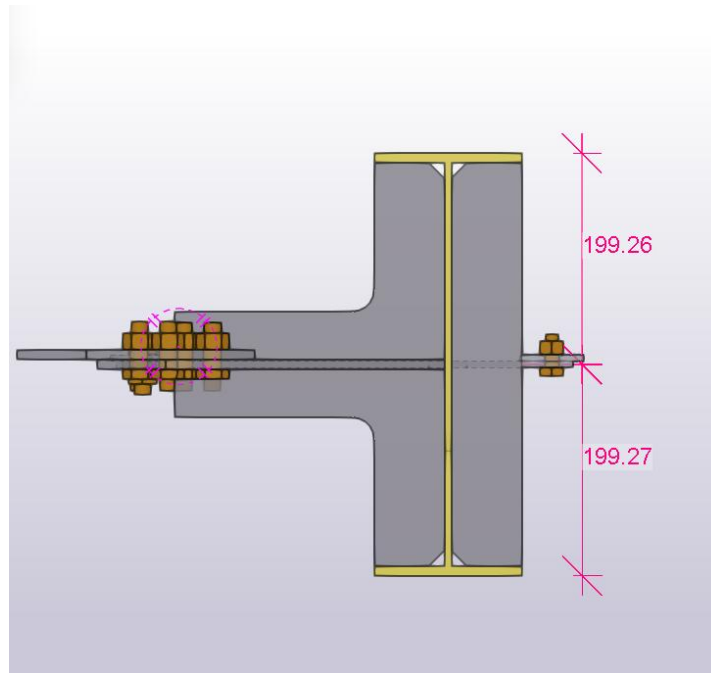
**APÉNDICES****Apéndice A.** Verificación del modelo estructural.

En la siguiente figura se presenta la verificación de una conexión estructural en el modelo, donde se evaluaron criterios como distancias mínimas entre pernos, disposición de elementos de unión y coherencia geométrica, en concordancia con la NSR-10 (Título F). Adicionalmente, se verificó el centrado de las platinas respecto al perfil principal, con el fin de evitar ambigüedades en su orientación durante la fabricación y montaje. Este criterio permite que los elementos puedan ser utilizados de manera simétrica, facilitando su rotación sin afectar la funcionalidad del conjunto. Asimismo, en la definición de uniones tipo brida se consideraron tolerancias constructivas que permiten compensar variaciones dimensionales durante la fabricación y facilitar el proceso de preensamble en planta, garantizando una adecuada alineación de los elementos estructurales.



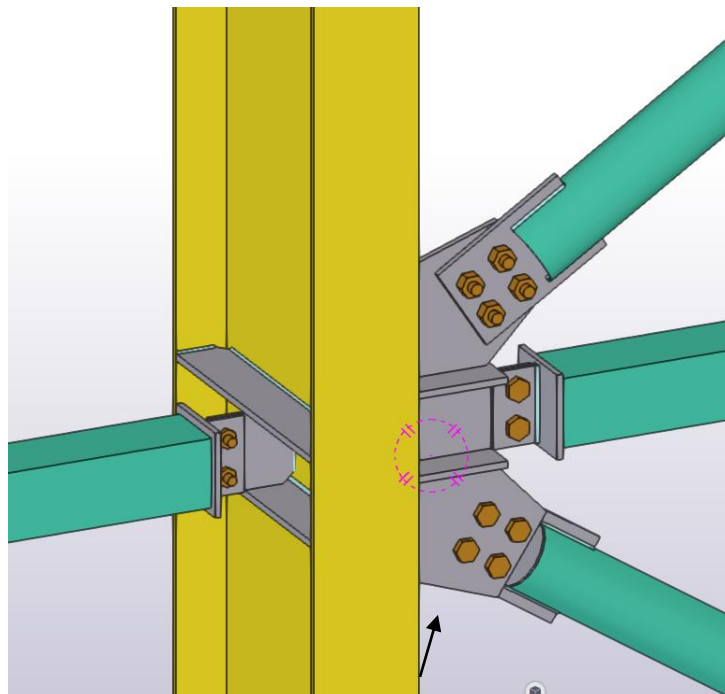
Fuente: *Elaboración propia*

Verificación de conexión estructural en el modelo.



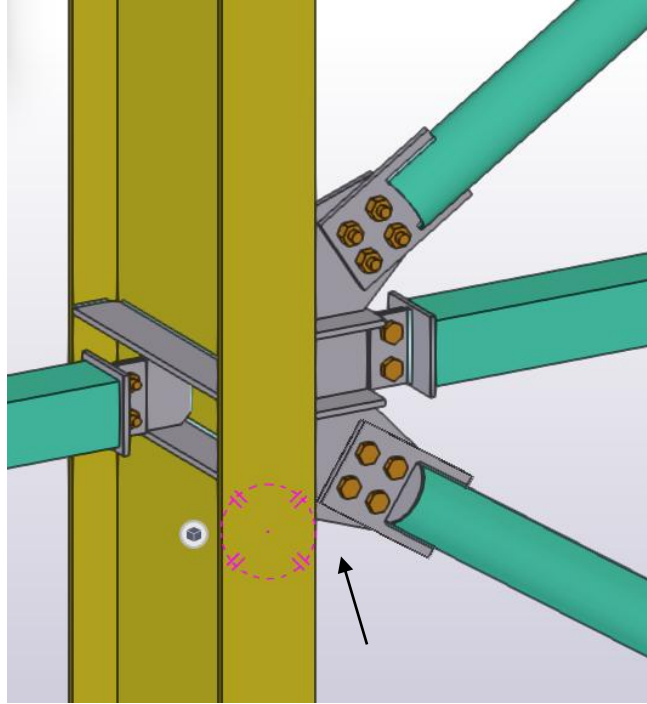
Fuente: *Elaboración propia*

Configuración inicial de conexión con inconsistencias geométricas



Fuente: *Elaboración propia*

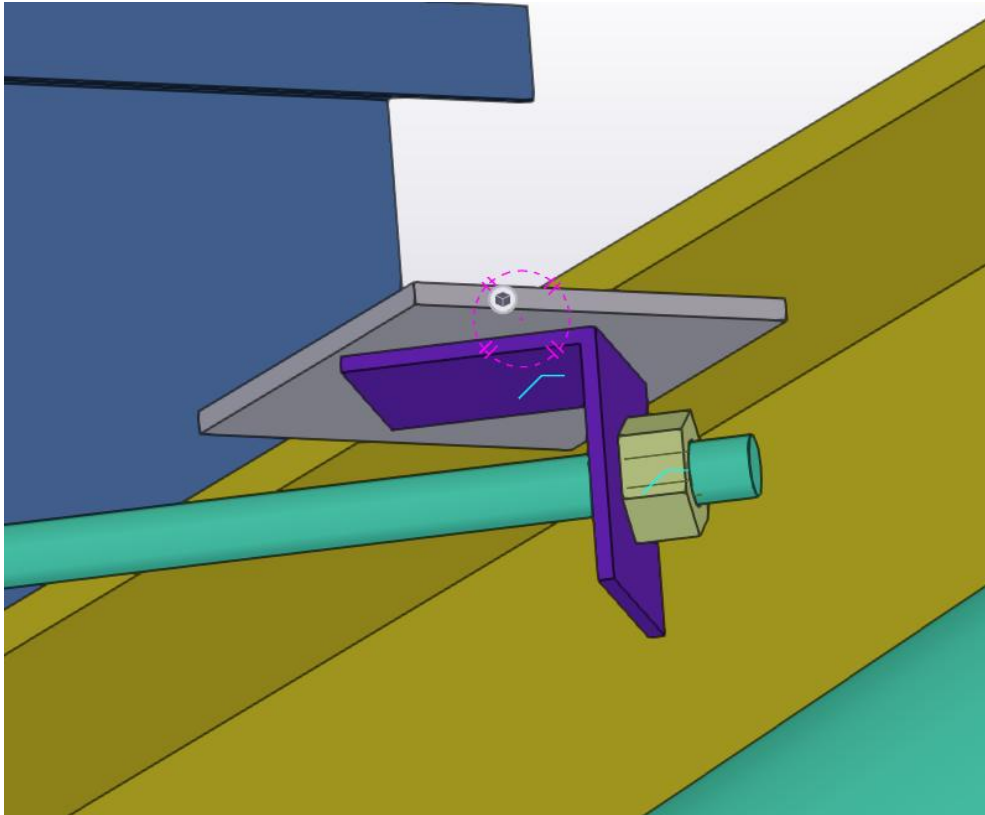
Configuración corregida de conexión tras proceso de validación del modelo



Fuente: *Elaboración propia*

Las imágenes presentadas corresponden a un ejemplo del proceso de ajuste del modelo, donde se corrigieron inconsistencias en la disposición de los elementos de unión y en el centrado de las platinas de conexión. La configuración resultante garantiza una geometría coherente y viable para fabricación y montaje, permitiendo además el uso simétrico de los elementos mediante rotación sin afectar la funcionalidad del conjunto, lo cual optimiza los procesos de producción en planta.

En esta imagen se presenta el modelado de la conexión de un elemento de arriostramiento, donde se definió el uso de un perfil angular como elemento de unión, junto con el arreglo de pernos y su interacción con los perfiles principales. Esta configuración se desarrolló con criterios de constructibilidad y montaje, garantizando la adecuada transmisión de esfuerzos y la coherencia geométrica del conjunto, y fue validada técnicamente en coordinación con el área de diseño.




Fuente: *Elaboración propia*

**Apéndice B. Requerimiento y gestión de material.**

En este anexo se presentan los listados de requerimiento de material generados durante el desarrollo del proyecto, utilizados para la gestión de compras y control de inventario.

**Perfiles.**


		SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN						CÓDIGO
		REQUERIMIENTO DE MATERIAL O INSUMOS						VERSIÓN
		PERFILERÍA						FECHA
NOMBRE DEL PROYECTO:		PIBGA-2025-CONS-015 CUBIERTA EMPAS						
PRIORIDAD	ÍTEM	PERFIL	MATERIAL	LONGITUD (m)	PESO (kg/m)	PESO (kg)	UNIDADES (6m)	PESO A COMPRAR (kg)
	1	W16X26	A572 GR50	207,3	38,8	8044,09	35	8148,0
	2	PTE 3-1/2"X2.0	A500 GRC	81,4	4,36	354,92	14	366,2
	3	PTE 90X90X3.0	A500 GRC	109,2	8,28	904,44	19	943,9
	4	PHR-C 100X50X2.0	A1011	30,8	9,77	300,92	6	351,7
	5	PHR-C 203X67-2.0	A1011	603,0	5,62	3388,86	101	3405,7
	6	L1"X3/16"	A36	94,3	1,73	163,22	16	166,1
	7	L1-1/2"X3/16"	A36	197,9	2,68	530,45	33	530,6
	8	BARRALISA 1/2	A36	238,7	0,99	236,32	40	237,6
	9	L2X1/4	A36	5,0	2,86	14,30	1	17,2
	10							
Subtotal:						13937,5	TOTAL	14167,1

FECHA PEDIDO 6/12/2025  
 SOLICITA Fabián Martínez

APRUEBA: Fabián Martínez  
 Coordinador proyectos

Fuente: *Elaboración propia.*

**Platinas.**

		SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN					CÓDIGO	GCT-FB-FT-005
		REQUERIMIENTO DE MATERIAL O INSUMOS					VERSIÓN	2
		LÁMINAS					FECHA	11/10/2024
NOMBRE DEL PROYECTO:		PIBGA-2025-CONS-015 CUBIERTA EMPAS						
ÍTEM	ESPESOR (mm)	MATERIAL	AREA (m2)	PESO (kg/m2)	PESO (kg)	UNIDADES (4'X8') CONSIDERANDO	UNIDADES (8'X20') CONSIDERANDO	
1	3	A36	0,360	23,55	8,5	1		
2	6	A36	49,340	47,10	2306,6		4	
3	8	A572 GR50	4,020	62,80	252,5	2		
4	9	A572 GR50	13,470	70,65	951,7	5		
5	19	A572 GR50	2,923	149,15	436,0	2		
6								
7			436,000	2,92				
8								
9								
Subtotal:					3955,2	TOTAL		

FECHA PEDIDO 6/12/2025  
 SOLICITA Fabián Martínez

APRUEBA: Fabián Martínez  
 Coordinador proyectos

Fuente: *Elaboración propia.*

**Tornillos.**


	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN			CÓDIGO	GCT-FB-FT-005
				VERSIÓN	3
	REQUERIMIENTO DE MATERIAL O INSUMOS			FECHA	11/10/2024
<b>TORNILLOS</b>					
NOMBRE DEL PROYECTO:		PIBGA-2025-CONS-015 CUBIERTA EMPAS			
ÍTEM	PERFIL	LONGITUD (in)	MATERIAL	ACABADO	CANTIDAD
1	TORNILLO 1/2"	1-1/4"	A325	GALVANIZADO	1380
2	TORNILLO 1/2"	1-1/4"	A325	GALVANIZADO	64
3	TUERCA 1/2"	-	A194	GALVANIZADO	1444
4	ARANDELA 1/2"	-	F436	GALVANIZADO	1444
5	TORNILLO 5/8"	1-3/4"	A325	GALVANIZADO	224
6	TUERCA 5/8"	-	A194	GALVANIZADO	224
7	ARANDELA 5/8"	-	F436	GALVANIZADO	224
8	TORNILLO 3/4"	2-1/2"	A325	GALVANIZADO	112
9	TUERCA 3/4"	-	A194	GALVANIZADO	112
10	ARANDELA 3/4"	-	F436	GALVANIZADO	112
11	TORNILLO 3/4"	2-1/2"	A325	GALVANIZADO	224
12	TUERCA 3/4"	-	A194	GALVANIZADO	224
13	ARANDELA 3/4"	-	F436	GALVANIZADO	224
Subtotal:					<b>4632</b>

FECHA PEDIDO 6/12/2025  
 SOLICITA Fabián Martínez

APRUEBA: Fabián Martínez  
 Coordinador proyectos

Fuente: Elaboración propia.

**Anclajes.**


	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN			CÓDIGO	GCT-FB-FT-005	
				VERSIÓN	2	
	REQUERIMIENTO DE MATERIAL O INSUMOS			FECHA	11/10/2024	
<b>ANCLAJES</b>						
NOMBRE DEL PROYECTO:		PIBGA-2025-CONS-015 CUBIERTA EMPAS				
ÍTEM	NOMBRE	DIÁMETRO (in)	CANTIDAD	LONGITUD (mm)	MATERIAL	ACABADO
1	VARILLA ROSCADA	1/2"	3	3660	A193 GR.B7	NEGRO
2	TUERCAS	1/2"	80		ASTM A194	NEGRO
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Subtotal:			<b>83</b>			

FECHA PEDIDO 6/12/2025  
 SOLICITA Fabián Martínez

APRUEBA: Fabián Martínez  
 Coordinador proyectos

Fuente: Elaboración propia.

**Pintura.**


	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN			CÓDIGO	GCT-FB-FT-005
				VERSIÓN	3
	REQUERIMIENTO DE MATERIAL O INSUMOS			FECHA	11/10/2024
<b>PINTURA</b>					
NOMBRE DEL PROYECTO:		PIBGA-2025-CONS-015 CUBIERTA EMPAS			
ÍTEM	TIPO	PINTURA	Área (m2)	Rendimiento (m2/gal)	CANTIDAD (gal)
1	Anticorrosivo	Epóxico SIKACOR60	935,31	18,0	52
2	Acabado	Uretano TÓNER	935,31	20,0	47
3	Arena sandblasting	SPC-SP10	935,31	8,3	20000
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Subtotal:					<b>20099</b>

FECHAPEDIDO 11/7/2025

APRUEBA: Fabián Martínez

Fuente: Elaboración propia.

**Soldadura.**

	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN			CÓDIGO	GCT-FB-FT-005	
				VERSIÓN	3	
	REQUERIMIENTO DE MATERIAL O INSUMOS			FECHA	11/10/2024	
<b>SOLDADURA</b>						
NOMBRE DEL PROYECTO:		PIBGA-2025-CONS-015 CUBIERTA EMPAS				
ÍTEM	TIPO	Diametro Alambre	% De soldadura	Peso total proyecto	kg	CANTIDAD (rollos)15kg
1	ER70S-6	MIG 0.35	1,5	17000,0	255,0	17
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Subtotal:						<b>17</b>

FECHAPEDIDO 11/7/2025  
SOLICITA Fabián Martínez

APRUEBA: Fabián Martínez  
Coordinador proyectos

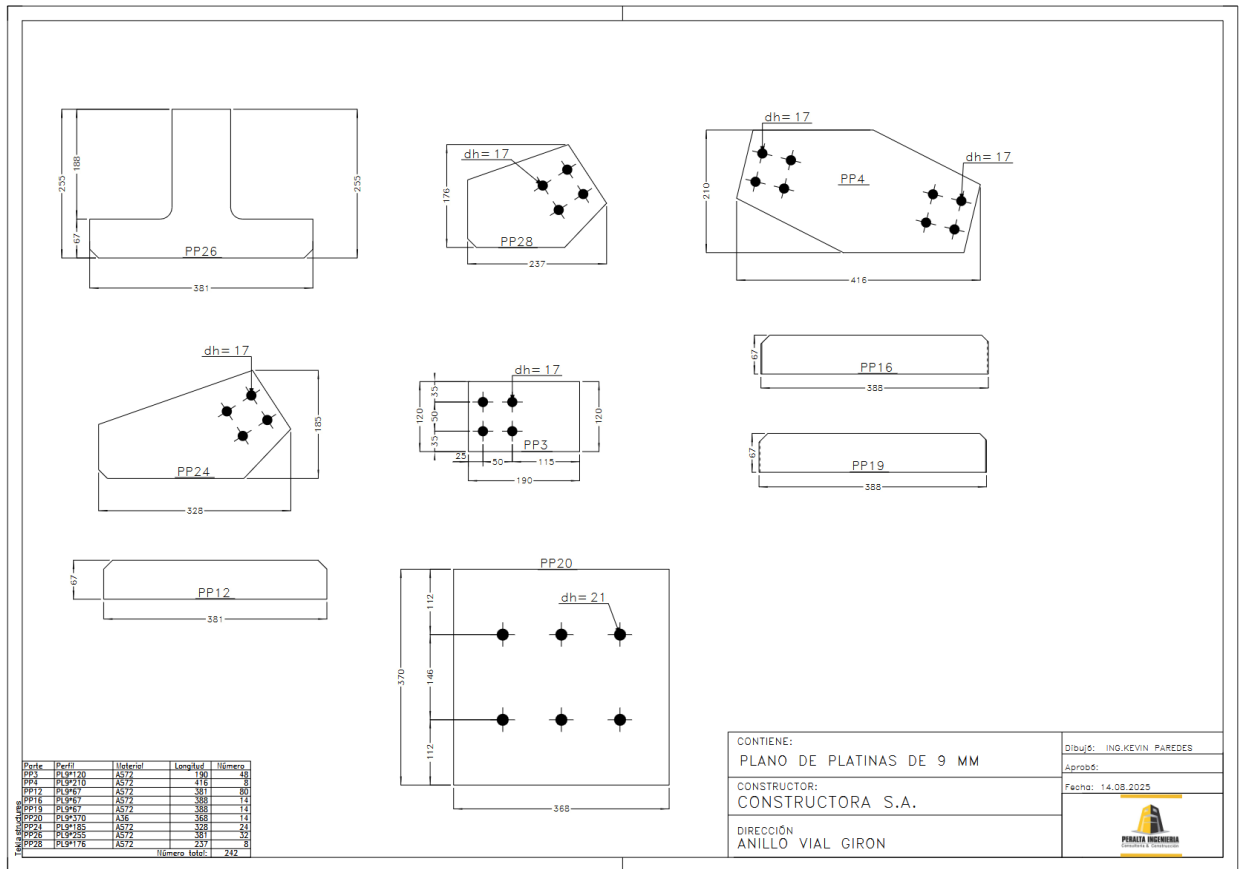
Fuente: Elaboración propia.

**Apéndice C. Planos de taller.**

En este anexo se presentan planos representativos de fabricación desarrollados durante el proyecto, incluyendo planos de parte, conjunto, preensamblaje y montaje, los cuales fueron utilizados para la ejecución en planta y la correcta instalación en obra.

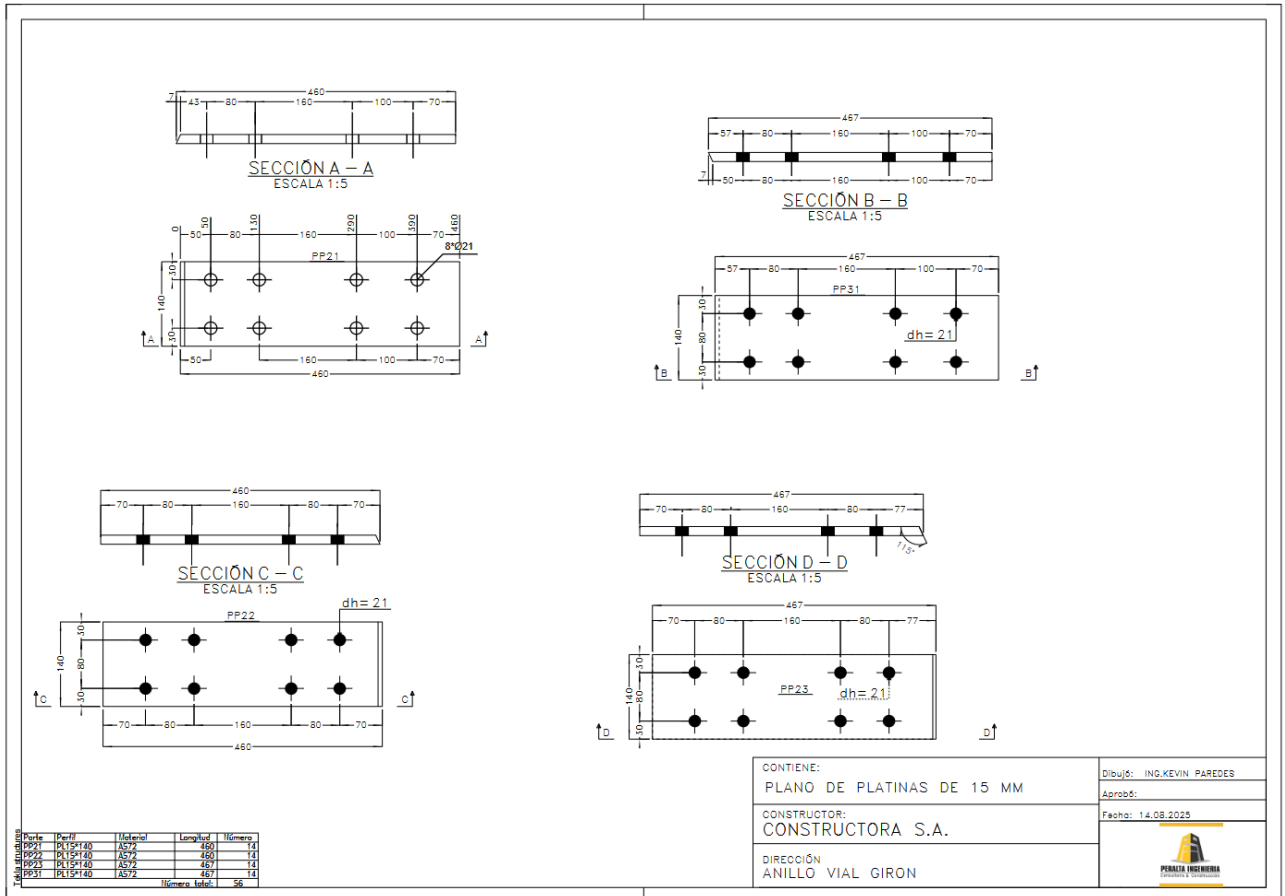
**Planos de corte.**

**Platinas 9 mm.**



Fuente: Elaboración propia

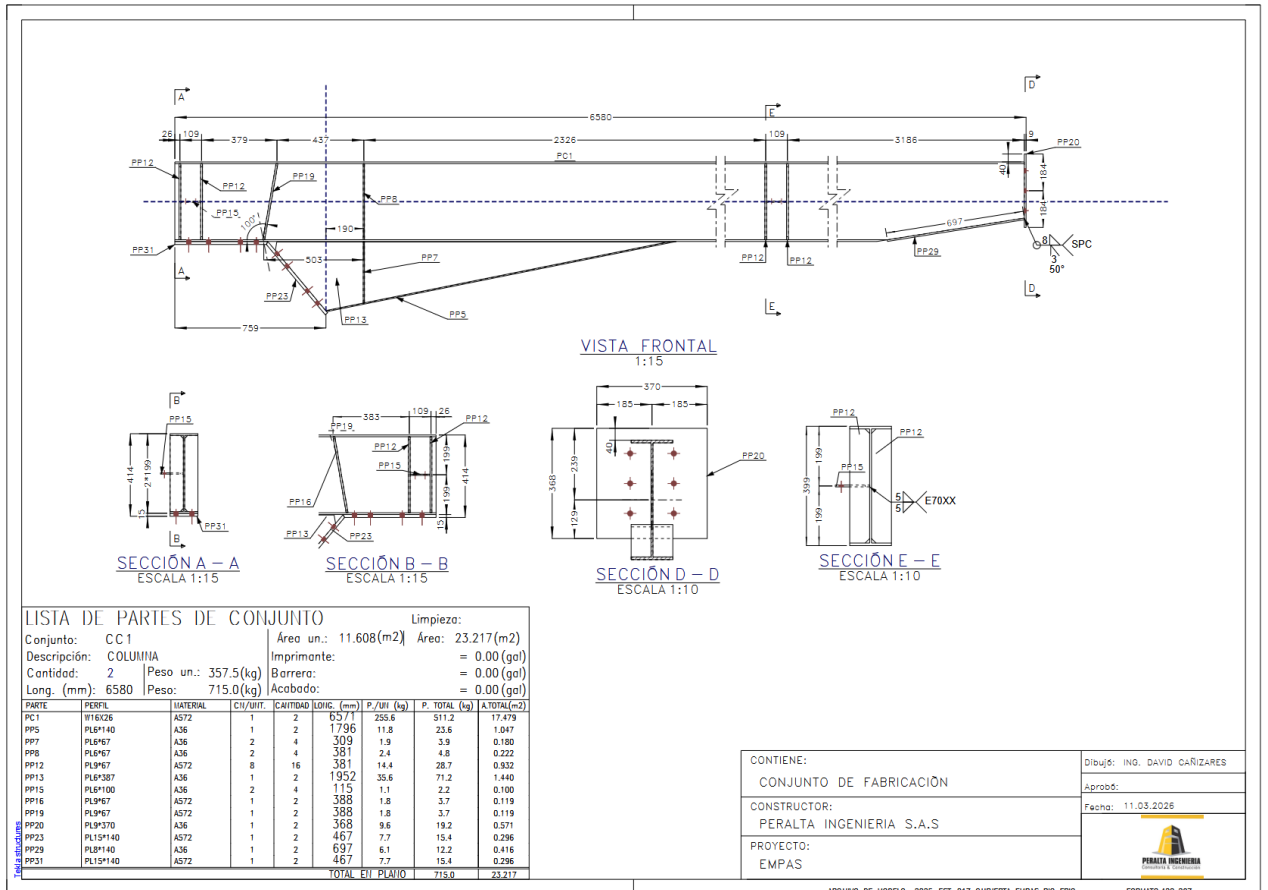
**Platinas 15 mm.**



Fuente: Elaboración propia

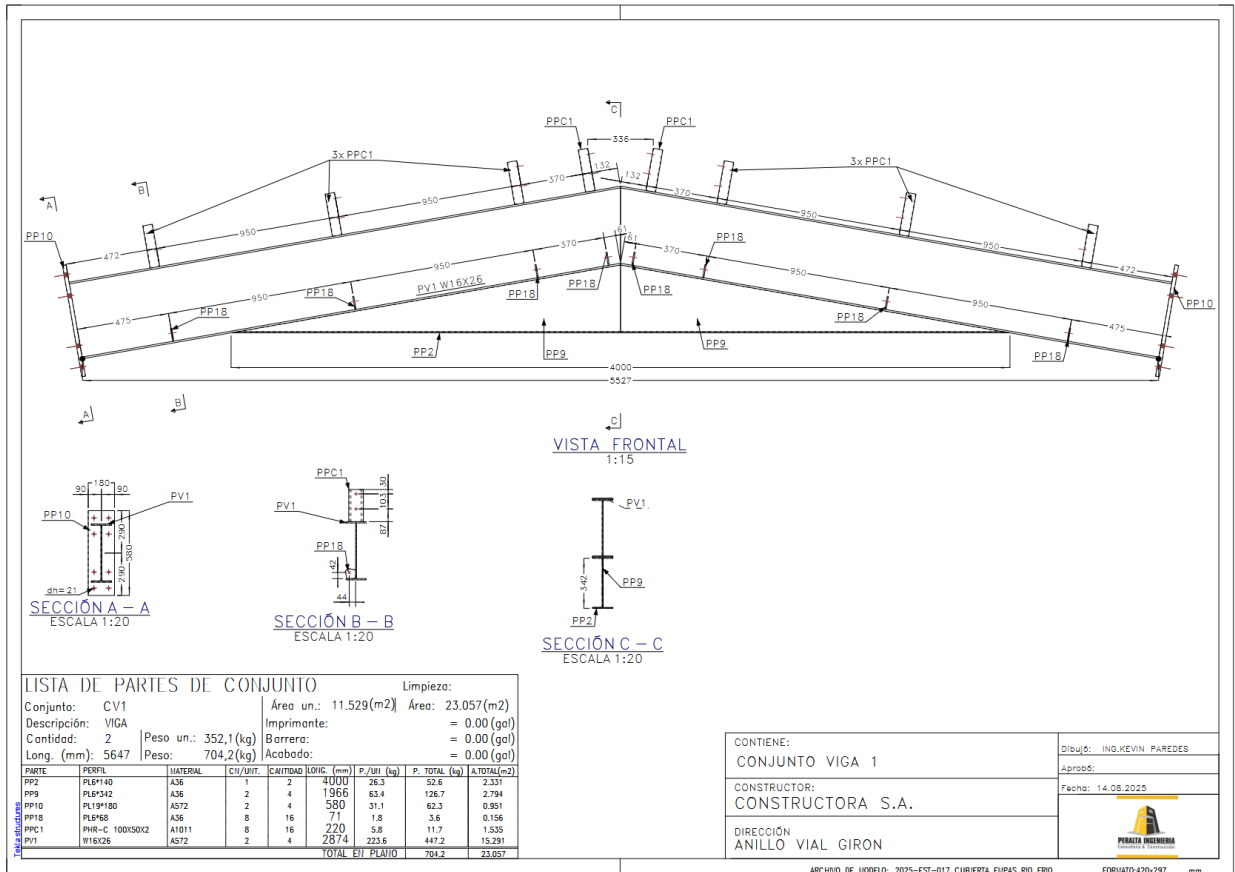
Planos de conjunto.

Conjunto CC1-Columna.



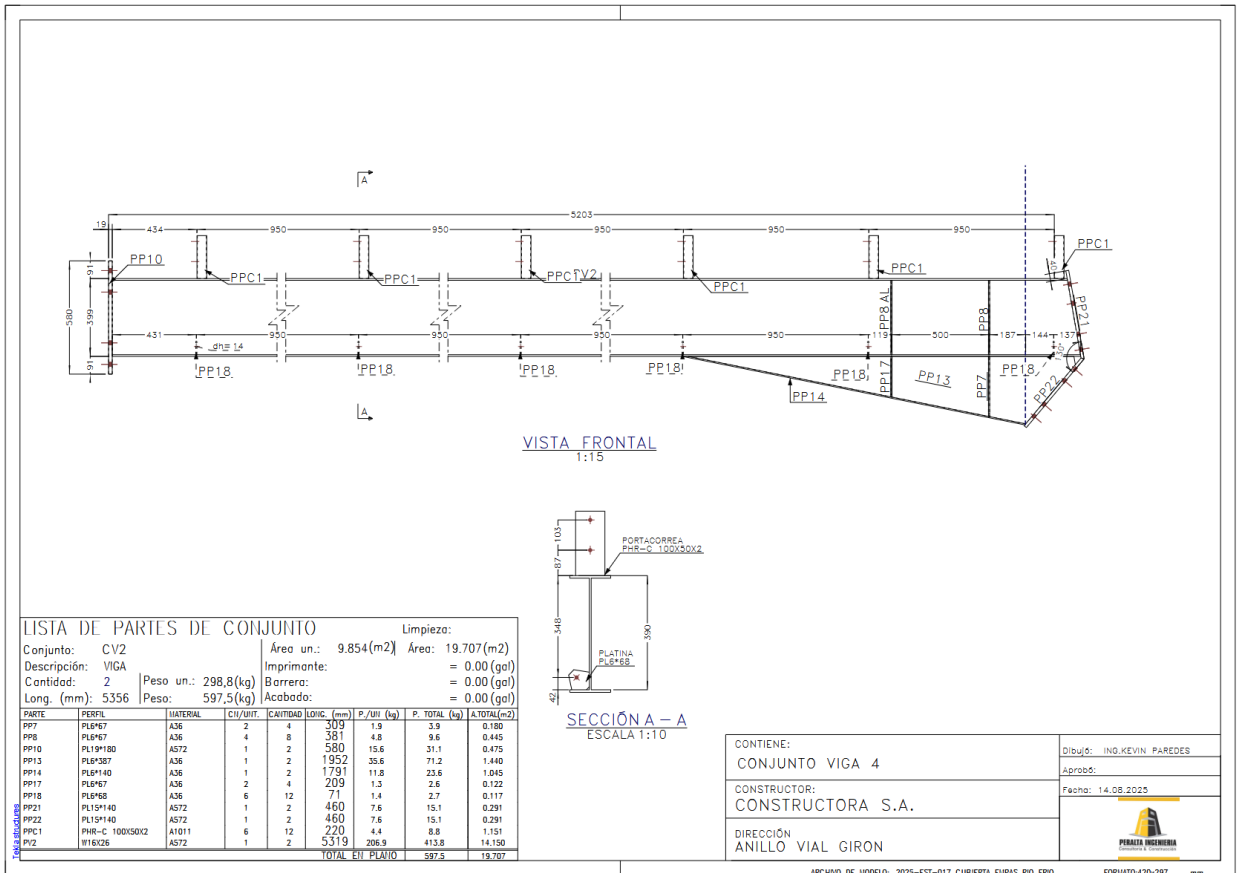
Fuente: Elaboración propia

Conjunto CV1-Viga.



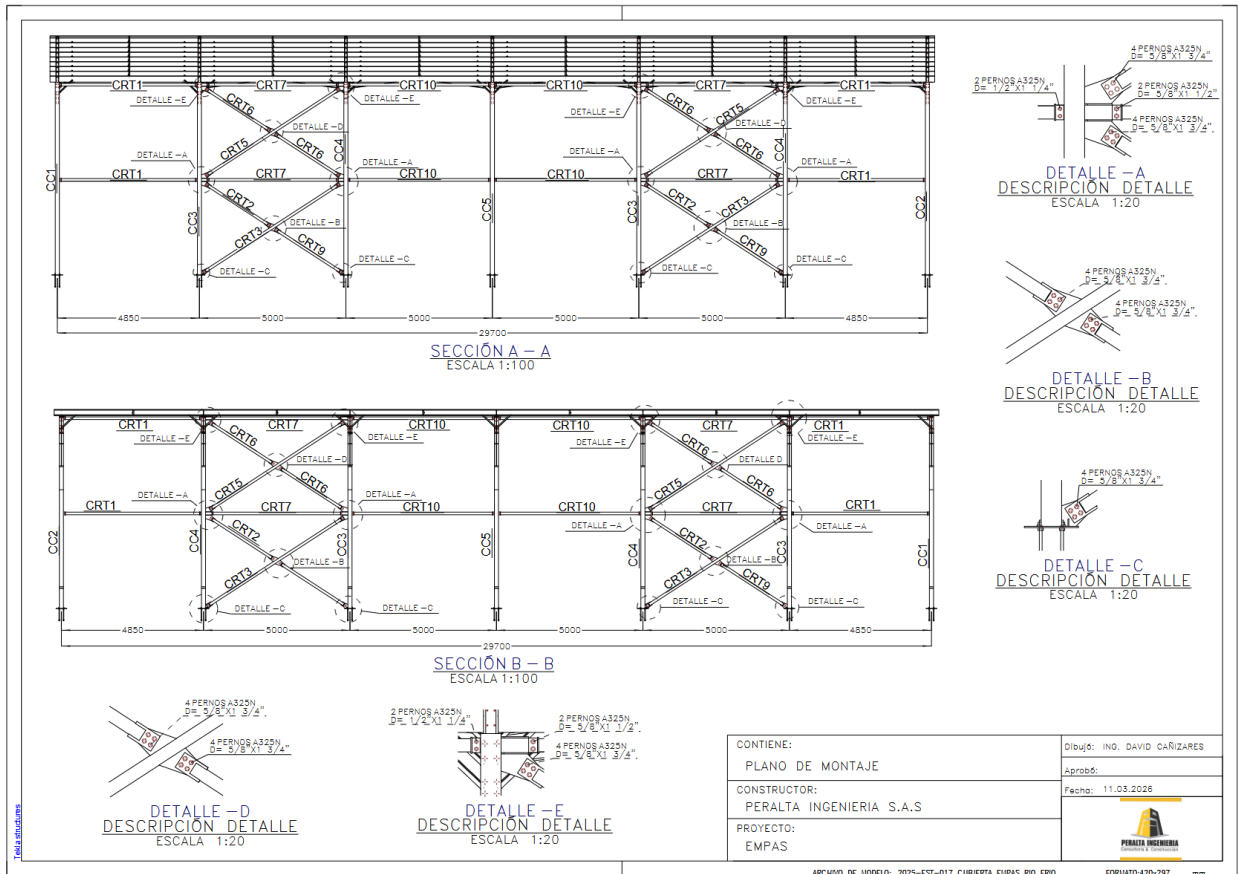
Fuente: Elaboración propia

Conjunto CV2-Viga.



Fuente: Elaboración propia























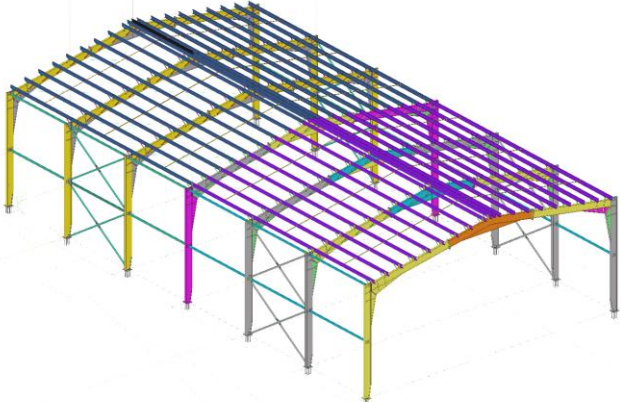
Plano de Montaje.



Fuente: Elaboración propia

Apéndice D. Control de producción y avance.

En este anexo se presentan los formatos y registros utilizados para el control del avance de fabricación durante el desarrollo del proyecto, basados en el seguimiento por peso (kg) y porcentaje de ejecución por proceso, lo cual permitió evaluar la productividad diaria y el estado de los elementos estructurales en planta.

	<b>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN</b>				CÓDIGO:	GCT-FB-FT-004														
	REPORTE DIARIO DE ACTIVIDADES				VERSIÓN:															
					FECHA:	11/06/2025														
				PÁGINA:																
<b>REPORTE DIARIO DE ACTIVIDADES N° 27</b>																				
Entidad contratante: FAGAR SAS					Fecha: 17/09/2025															
<b>INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO</b>																				
CÓDIGO PROYECTO	PIBGA-2025-CONS-015																			
OBJETO	CONSTRUCCIÓN: INCLUYE SUMINISTRO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURA METÁLICA PARA CUBIERTA EN PTAR RIO FRIO. EMPAS ANILLO VIAL GIRÓN – FLORIDABLANCA. INCLUYE REDISEÑO ESTRUCTURAL																			
COORDINADOR	ING. FABIAN ANDRES MARTINEZ MUÑOZ																			
LÍDER FABRICACIÓN	JORGE VARGAS																			
ESTADO DEL PROYECTO	EN EJECUCION				ESPECIALIDAD CUBIERTA															
LOCALIZACIÓN	ANILLO VIAL, GIRÓN	DEPARTAMENTO	SANTANDER		MUNICIPIO BUCARAMANGA															
FECHA DE INICIO	11/08/2025	FECHA DE FINALIZACIÓN	22/09/2025		PLAZO 43 días															
<b>JORNADA DE TRABAJO</b>																				
TURNO	Diumo	DE	7:00	HASTA	13:00	HORAS	8													
		DE	12:00	HASTA	16:00	CLIMA	Seco													
<b>ESTRUCTURA PROYECTADA</b>																				
<table border="0"> <tr> <td></td> <td>No iniciado</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Corte y perforado</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Armado</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Resoldado</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Limpiado</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pintura anticorrosiva</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pintura en acabado</td> </tr> </table>								No iniciado		Corte y perforado		Armado		Resoldado		Limpiado		Pintura anticorrosiva		Pintura en acabado
	No iniciado																			
	Corte y perforado																			
	Armado																			
	Resoldado																			
	Limpiado																			
	Pintura anticorrosiva																			
	Pintura en acabado																			
																				
<b>PERSONAL EN OBRA</b>																				
N°	NOMBRE	CARGO	H. EXTRAS	NOVEDADES																
1	LUIS VARGAS	MAESTRO	0	N/A																
2	RONNY SIDRAY	SOLDADOR	0	N/A																
3	TEODOMIRO ACEVEDO	SANDBLASTERO	0	N/A																
4	WILLIAM PINZÓN	TOLVERO	0	N/A																
5	DAYSON HERRERA	ARMADOR	0	N/A																
6	GERMAN MAESTRE	ARMADOR	0	N/A																
7	IVAN GARCIA	ARMADOR	0	N/A																
8	BRAYAN VALERA	SOLDADOR	0	N/A																
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				

Fuente: Elaboración propia

Reporte diario de actividades de una etapa intermedia del proyecto.

ACTIVIDADES EJECUTADAS							
EDT	DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD	% completado	Cuadrilla de trabajo			Cronograma	Duración real [horas]
			Maestro	Oficial	Auxiliar		
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>	<b>100%</b>					
1.1	<b>Planta</b>	100%					
1.1.1	Modelamiento	100%					
1.1.2	Elaboración de planos de fabricación	100%					
1.1.3	Adquisición de materiales directos del proyecto	100%					
<b>2</b>	<b>PRODUCCION</b>	<b>60%</b>					
2.1	<b>Corte y perforado de platinas</b>	100%					
2.1.1	Platinas ( 3 mm a 9 mm)	100%					
2.1.2	Platinas ( 12 mm a 19 mm)	100%					
2.1.3	Platinas (mayores a 19 mm)	100%					
2.2	<b>Corte y perforado de perfiles</b>	80%					
2.2.1	Corte y perforado de vigas	63%					
2.2.2	Corte y perforado de columnas	100%					
2.2.3	Corte y perforado de Riostras	18%					
2.2.4	Corte y perforado de correas	100%					
2.3	<b>Armado de conjuntos</b>	57%					
2.3.1	Armado de vigas	76%					
2.3.2	Armado de columnas	71%					
2.3.3	Armado de Riostras	0%					
2.3.4	Armado de templeros	86%					
2.3.5	Armado de contra vientos	0%					
2.3.6	Preensable	57%					
2.4	<b>Resoldado de conjuntos</b>	63%					
2.4.1	Aplicacion de soldadura	63%					
2.5	<b>Limpieza SSCP-SP10</b>	71%					
2.5.1	Limpieza camara de sand blasting	71%					
2.6	<b>Aplicación de recubrimiento anticorrosivo</b>	71%					
2.6.1	Esquema de anticorrosivo	71%					
2.7	<b>Aplicación de recubrimiento de acabado</b>	61%					
2.7.1	Esquema de acabado uretano	61%					
<b>COMENTARIOS</b>							
1 RECEPCION DE MATERIALES W16X26							
2 CORTE Y PERFORADO DE COLUMNAS							
3 INSTALACION DE PLATINAS							
4 ARMADO DE COLUMNAS							

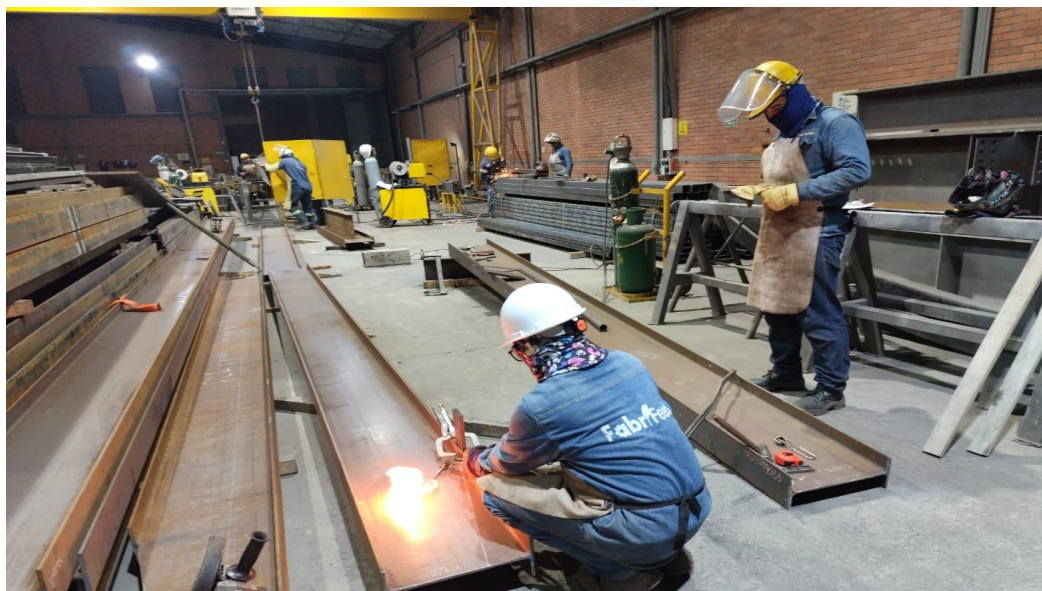
Fuente: Elaboración propia

Platinas en mesa de corte CNC.



Fuente: Elaboración propia

Partes de viga y columna en proceso de corte.



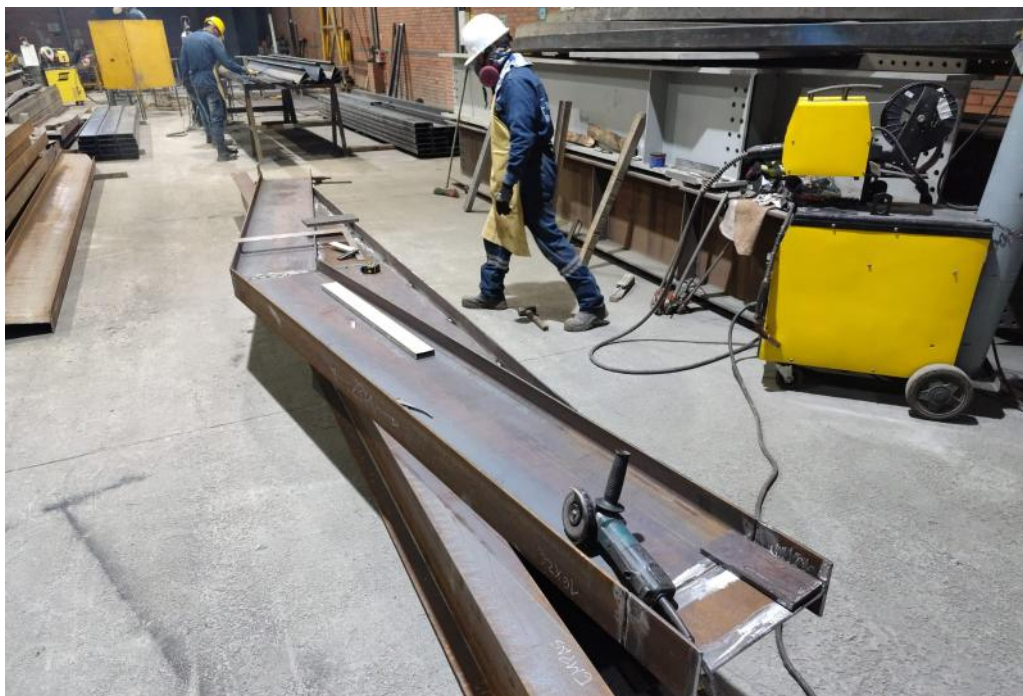
Fuente: Elaboración propia

Conjunto en proceso de armado en planta de fabricación.



Fuente: Elaboración propia

Conjunto en proceso de armado en planta de fabricación.



Fuente: Elaboración propia

Conjunto en proceso de soldado en planta de fabricación.



Fuente: Elaboración propia

Pórtico en proceso de preensamble.



Fuente: Elaboración propia

Lote de correas en cabina de sandblasting, proceso de limpieza SP10.



Fuente: Elaboración propia

Proyecto EMPAS finalizado.



Fuente: Elaboración propia