

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires

Desarrollo de un sistema integrado para la codificación y optimización del proceso de fabricación de estructuras metálicas

Carrera: Ingeniería Mecánica

Práctica Profesional Supervisada

Estudiante: Camila Gambarte

Tutor Docente: Patricio Germán Arrien

Tutor de Empresa: Octavio Petrone

Fecha de presentación: 26/11/2025

Índice

1. Introducción.....	3
2. La empresa.....	4
3. Objetivos.....	5
4. Plan de trabajo y carga horaria.....	6
5. Descripción de la práctica profesional efectuada.....	8
5.1. Proceso de fabricación.....	8
5.1.1. Diagnóstico del proceso productivo.....	11
5.2. Codificación de piezas.....	12
5.3. Capacitación.....	15
5.4. Etiquetado de piezas.....	15
5.5. Implementación del sistema y generación de planos.....	18
5.6. Caracterización y evaluación de uniones soldadas.....	21
5.6.1. Simbología.....	22
5.6.2. Relevamiento de parámetros.....	23
5.6.3. Medición geométrica de las uniones.....	23
5.6.4. Identificación de defectos de soldadura.....	24
5.6.5. Propuestas de mejora.....	29
6. Conclusiones.....	31
7. Bibliografía.....	32
8. Anexos.....	33
8.1. Anexo A: Instructivo de codificación.....	33
8.2. Anexo B: Modelado 3D de estructuras.....	33
8.3. Anexo C: Planos de estructura secundaria.....	33
8.4. Anexo D: Planos implementación de simbología.....	33
8.5 Anexo E: Formularios de relevamiento de parámetros y análisis de soldadura.....	33
9. Agradecimientos.....	34

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 - Taller Galo. Fuente: https://galo.com.ar/	4
Ilustración 2 - Planta DSJ. Fuente: https://galo.com.ar/	5
Ilustración 3 - Nave industrial Indelplas. Fuente: https://galo.com.ar/	5
Ilustración 4 - Proceso de corte. Fuente: Elaboración propia.....	8
Ilustración 5 - Proceso de conformado. Fuente: Elaboración propia.	9
Ilustración 6 - Proceso de conformado. Fuente: https://galo.com.ar/	10
Ilustración 7 - Área de pintura. Fuente: Elaboración propia.	10
Ilustración 8 - Layout de taller. Fuente: Elaboración propia.....	11
Ilustración 9 - Codificación general de planos. Fuente: Elaboración propia.	14
Ilustración 10 - Codificación individual de piezas. Fuente: Elaboración propia.	15
Ilustración 11 - Etiquetador por micropercusión. Fuente: DTMaq.....	16
Ilustración 12 - Etiquetado por placas identificatorias. Fuente: Pannier Corporation.	17
Ilustración 13 - Ilustración 3D de estructuras. a) principal. b) secundaria. Fuente: Elaboracion propia.	18
Ilustración 14 - Plano de corte. Fuente: Elaboración propia.	19
Ilustración 15 - Plano de corte. Fuente: Elaboración propia.	19
Ilustración 16 - Rótulo. Fuente: Elaboración propia.	20
Ilustración 17 - Plano de conformado. Fuente: Elaboración propia.....	20
Ilustración 18 - Interfaz del software FastCAM. Fuente: FastCAM Inc.	21
Ilustración 19 - Simbología de soldadura en plano de conformado. Fuente: Elaboración propia.	23
Ilustración 20 - Unión ala-alma columna Tandil. Fuente: Elaboración propia.....	26
Ilustración 21 - Unión ala-alma columna Buenos Aires. Fuente: elaboración propia.	27
Ilustración 22 - Unión alma-alma columna Buenos Aires. Fuente: Elaboración propia.	27
Ilustración 23 - Unión ala-ala columna Buenos Aires. Fuente: Elaboración propia.....	28
Ilustración 24 - Unión refuerzos columna Buenos Aires. Fuente: Elaboración propia.	29

1.Introducción

Con el propósito de aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación universitaria, se llevará a cabo la Práctica Profesional Supervisada (PPS) correspondiente a la carrera Ingeniería Mecánica en la empresa Galo Galpones y Obras, ubicada en la ciudad de Junín. Esta experiencia permitirá integrar teoría y práctica en un entorno laboral que se especializa en el diseño, cálculo y construcción de estructuras metálicas. La supervisión técnica de la misma está a cargo del Ing. Octavio Petrone, mientras que la supervisión institucional docente está bajo responsabilidad del Ing. Patricio Arrien. Ambos profesionales guiarán cada etapa del proceso para asegurar la correcta aplicación de los conocimientos académicos vinculados al área profesional.

Durante el desarrollo de la práctica, se realizarán una serie de actividades centradas en el desarrollo de un sistema para la codificación y optimización del proceso de fabricación de estructuras, orientado a mejorar la trazabilidad, la organización de la documentación técnica y la comunicación entre los distintos sectores de la empresa. En este marco, se diseñará e implementará un sistema estandarizado de codificación de piezas, acompañado por un instructivo de uso, un sistema de etiquetado y una propuesta de digitalización de la información mediante códigos QR.

Además, se colaborará en la generación de planos técnicos y modelado 3D de estructuras, aplicando criterios de estandarización y simbología de soldadura según normativa vigente. Paralelamente, se realizará un relevamiento de los parámetros de soldadura y una observación general de las uniones, identificando defectos y proponiendo medidas de mejora.

Al finalizar las actividades, se espera haber logrado avances en la estandarización de la documentación técnica, en el fortalecimiento de la comunicación entre el área de oficina técnica y el taller, y en la mejora de la apariencia y caracterización de los cordones de soldadura, contribuyendo al incremento de la calidad y eficiencia del proceso.

La ejecución de esta práctica profesional supervisada permitió aplicar de manera integral conceptos de ingeniería los cuales se materializaron en la elaboración de documentación técnica entregable sobre los procesos de la empresa. Por otra parte, esta práctica me permitió tener un primer contacto con el ámbito industrial, proporcionándome herramientas valiosas para interactuar y trabajar de forma coordinada con las distintas personas involucradas en todo el proceso productivo.

2.La empresa

Galo Galpones y Obras se encuentra radicada en la ciudad de Junín, provincia de Buenos Aires, dedicada al diseño, fabricación y ejecución de estructuras metálicas y obras industriales. La firma se especializa en la construcción de galpones, plantas industriales, talleres y centros logísticos, ofreciendo soluciones integrales adaptadas a las necesidades de cada cliente, tanto en la zona como en distintas provincias del país.

La empresa desarrolla sus proyectos bajo la modalidad “llave en mano”, abarcando todas las etapas del proceso constructivo, desde el movimiento de suelos y las fundaciones hasta el montaje de estructuras metálicas, cerramientos, instalaciones y terminaciones. La misma concentra gran parte de su actividad en el Parque Industrial de Junín, específicamente la etapa avocada al diseño, planificación y el conformado de perfiles y piezas para el montaje de estructuras.

Entre sus obras más representativas se destacan la Planta DSJ, el Centro de Distribución Naldo, su propio taller, y la fábrica de Indelplas, cuyo proyecto sigue en curso.



Ilustración 1 - Taller Galo. Fuente: <https://galo.com.ar/>



Ilustración 2 - Planta DSJ. Fuente: <https://galo.com.ar/>



Ilustración 3 - Nave industrial Indelpas. Fuente: <https://galo.com.ar/>

3. Objetivos

El **objetivo general** de esta Práctica Profesional Supervisada es desarrollar e implementar herramientas técnicas que permitan mejorar la organización, la estandarización y la trazabilidad del proceso productivo, incorporando sistemas de codificación, generación de documentación técnica, evaluación de uniones soldadas y propuestas de mejora aplicables a los distintos sectores de la empresa.

Los **objetivos específicos** que se establecieron fueron los siguientes:

- Comprender y analizar los distintos eslabones del proceso de fabricación y montaje de estructuras.
- Participar en la revisión y mejora de la documentación técnica generada en oficina técnica.
- Colaborar en la implementación de sistemas de control y seguimiento de obras y producción.
- Proponer e implementar un sistema de identificación de piezas fabricadas.
- Colaborar en la formulación de protocolos de control de calidad.

- Establecer propuestas de estandarización y codificación de documentos técnicos.

4. Plan de trabajo y carga horaria

La práctica profesional se desarrolló en el área de Oficina Técnica de la empresa Galo Galpones y Obras, desde el 14 de julio hasta el 19 de septiembre de 2025. La carga horaria fue de 20 horas semanales, distribuidas de lunes a viernes en el horario de 7 a 11 hs.

Durante el transcurso de la práctica se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Relevamiento del proceso actual de fabricación: Se realizó un recorrido por el taller, con el objetivo de reconocer el proceso de fabricación y comprender el modo de trabajo de la empresa.
- Propuesta de mejora en las etapas del proceso: Una vez conocido el proceso de fabricación, durante una reunión se identificaron junto con el ingeniero a cargo las principales dificultades y puntos débiles vinculados a la comunicación y a la identificación de las piezas, junto con otros aspectos relevantes a optimizar en el corto plazo.
- Implementación de un sistema de codificación y etiquetado de piezas y materiales: En esta etapa, se realizó un sistema de código alfanumérico que identifique las piezas desde su diseño hasta su conformado final. Por otra parte, en base a la codificación de las piezas terminadas, se ideó un sistema de etiquetas que contribuya a mejorar y agilizar el montaje en obra de las diferentes piezas.
- Instructivo técnico para documentar la trazabilidad del proceso: Tomando como punto de partida el sistema de codificación, se conformó un documento que desglosa cada apartado del código, explicando detalladamente la procedencia de cada sección utilizando referencias claras y comprensibles para los operarios del taller.
- Modelado 3D de estructuras metálicas en SolidWorks: Se efectuó el diseño tridimensional de las estructuras metálicas correspondientes a un proyecto específico, tomando como referencia los planos de arquitectura proporcionados por el profesional a cargo.
- Generación de planos específicos para el corte de chapas: Luego de contextualizar a todo el personal sobre la implementación del nuevo sistema de codificación generado, se procede a la generación de planos utilizando el programa anteriormente mencionado implementando el nuevo sistema. Por otra parte, se desglosó la estructura pieza por pieza utilizando el software "AutoCAD" para poder generar los archivos de código G correspondientes a la máquina de corte.

- Elaboración de documentación técnica para el conformado de piezas y montaje de estructuras: En esta etapa, se elaboró la documentación técnica correspondiente al conformado de piezas, identificando todos los detalles necesarios para la elaboración de las mismas y su posterior montaje.
- Implementación de simbología de soldadura en planos de conformado: Con base en los planos previamente realizados, se aplicó la simbología de soldadura correspondiente, siguiendo las normas y especificaciones técnicas exigidas por el proyecto.
- Relevamiento de parámetros e inspección visual de cordones de soldadura para control de calidad: Con el fin de minimizar defectos en el proceso de soldadura, se efectuó una inspección visual en el taller, observando los procedimientos aplicados, relevando los parámetros de soldadura, midiendo y registrando fotográficamente los cordones ejecutados, elaborando conclusiones en función de las observaciones realizadas y proponiendo puntos de mejora para algunas partes del proceso.

A continuación, se presenta un diagrama de Gantt que detalla la planificación inicial de las actividades y su duración estimada en semanas. La cronología sufrió modificaciones debido a las dificultades surgidas durante el desarrollo de las actividades y a la necesidad de realizar algunas tareas de manera simultánea. Sumado a este, se realizaron cambios en el objetivo general y específico de dichas prácticas.

Tabla 1. Diagrama de Gantt. Fuente: Elaboración propia.

N°	ACTIVIDADES	TIEMPO DE DURACIÓN											
		SEMANAS											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Relevamiento del proceso actual de fabricación.												
2	Redacción del informe.												
3	Propuestas de mejora para las etapas del proceso.												
4	Implementación de un sistema de codificación y etiquetado de piezas y materiales.												
5	Realización de un instructivo técnico para documentar la trazabilidad del proceso.												
6	Dibujo de estructuras en SolidWorks.												
7	Generación de planos específicos para el corte de chapas.												
8	Elaboración de documentación técnica para el conformado de piezas y montaje de estructuras.												
9	Implementación de simbología de soldadura en planos de conformado.												
10	Relevamiento de parámetros e inspección visual de cordones de soldadura para control de calidad.												
11	Informe de grado de avance.												
12	Corrección de informe.												
13	Entrega del informe final.												

5. Descripción de la práctica profesional efectuada

5.1. Proceso de fabricación

Durante los primeros días de la práctica, se reconoció el proceso de fabricación, la distribución de las áreas del taller y las tareas específicas que se realizan en cada una de ellas. Para ello, se efectuó un recorrido general por las instalaciones, con el fin de identificar las etapas del proceso productivo y los posibles puntos de mejora en cada sector.

El proceso de fabricación de la empresa se centra en el corte y conformado de chapas para la elaboración de perfiles tipo doble T, destinados al montaje de estructuras metálicas de gran porte. Este proceso incluye el corte, colocación de placas y refuerzos, y las operaciones necesarias para completar la estructura según las especificaciones del proyecto. Las principales tareas involucradas son el corte, soldadura, perforado y amolado de piezas.

El proceso comienza con la recepción de la materia prima, constituida por chapas de 6 x 1,5 m y espesores variables según el proyecto en ejecución. Los espesores más comunes son 3,2 mm, 6,35 mm, 7,9 mm y 9,2 mm. Las chapas se ingresan al taller conforme a la programación diaria de producción. Posteriormente, se realiza el corte de las piezas correspondientes a cada estructura mediante un pantógrafo CNC, al cual se le cargan previamente los archivos de corte en código G.



Ilustración 4 - Proceso de corte. Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidas las partes necesarias, se trasladan a una cama con mordazas regulables, donde se efectúa el conformado del perfil. En esta etapa se posicionan las alas en forma perpendicular al alma del perfil, y se realiza la soldadura longitudinal automática mediante un carro motorizado que garantiza uniformidad y continuidad en el cordón.

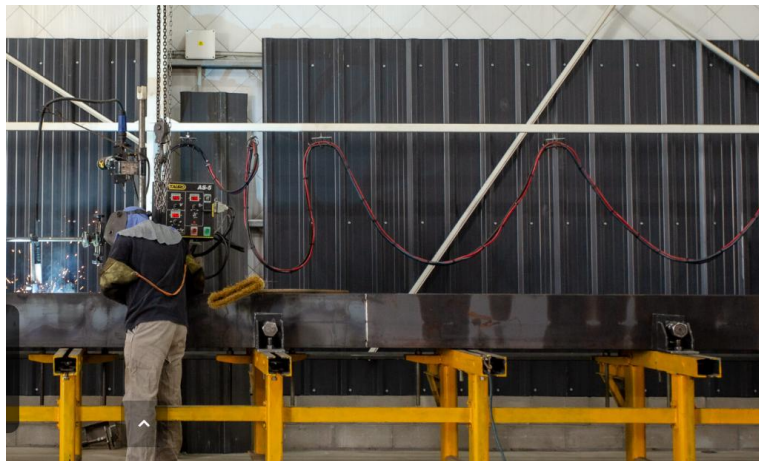


Ilustración 5 - Proceso de conformado. Fuente: Elaboración propia.

Finalizado el conformado, las piezas se trasladan a otro sector sobre caballetes de apoyo, donde se lleva a cabo el emplacado. Esta operación consiste en colocar las placas de base, refuerzos y elementos de unión requeridos por el diseño estructural.



Ilustración 6 - Proceso de conformado. Fuente: <https://galo.com.ar/>

En paralelo, en otro sector del taller, se realizan soldaduras de piezas complementarias, tales como fijaciones para tensores y el armado de fustes u otros componentes secundarios.

Una vez completadas las etapas de corte, conformado, emplacado y perforado, las piezas terminadas se trasladan al sector de pintura, donde se aplica el tratamiento superficial final, completando así el ciclo productivo.



Ilustración 7 - Área de pintura. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en la oficina técnica se desarrolla la planificación previa a la fabricación. En esta parte, el ingeniero responsable del cálculo estructural realiza el diseño y la disposición de los elementos que conforman la estructura, garantizando el cumplimiento de las solicitaciones mecánicas y los requisitos específicos del cliente. En ciertos casos, los proyectos se elaboran a partir de un anteproyecto provisto por el cliente, lo cual permite ajustar únicamente los aspectos técnicos necesarios para su ejecución.

A continuación, se presenta un layout del taller, en el cual se identifican los distintos sectores. Cabe mencionar que, al momento de la práctica, una parte del taller se encontraba en proceso de ampliación, por lo que algunas áreas se encontraban en construcción.

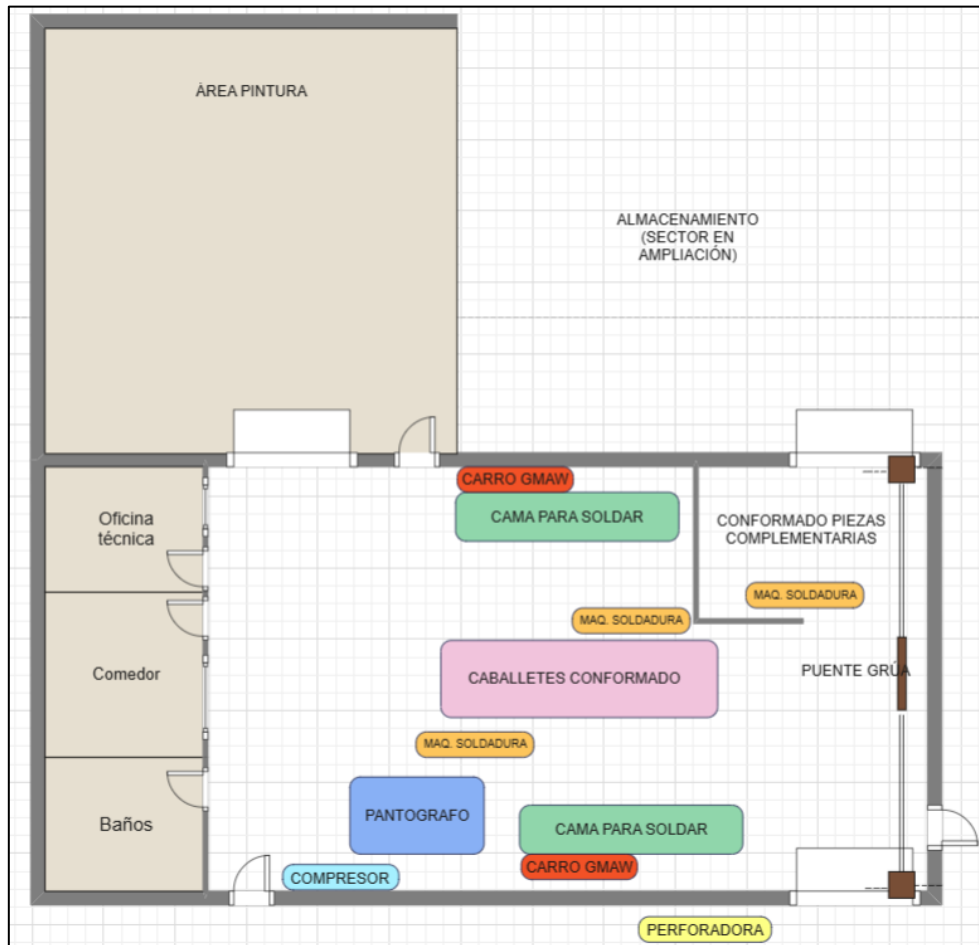


Ilustración 8 - Layout de taller. Fuente: Elaboración propia.

5.1.1. Diagnóstico del proceso productivo

Luego del análisis del proceso de fabricación, se elaboró un listado de problemáticas detectadas, con el objetivo de establecer posibles líneas de mejora:

- **Ausencia de un sistema de codificación estandarizado:** cada proyecto utiliza su propio criterio de identificación, lo que genera confusiones y errores de comunicación entre la oficina técnica, el taller y la obra.
- **Carencia de seguimiento de producción:** no se lleva un control periódico de la cantidad de piezas cortadas o fabricadas, lo que obliga al supervisor a realizar verificaciones visuales y manuales.

- **Limitaciones en el flujo de materiales:** debido a la falta de espacio físico, el desplazamiento de las piezas entre sectores no se realiza de manera fluida, provocando demoras y pérdidas de tiempo.
- **Ausencia de control de calidad en soldaduras:** No se encuentra realizada la calificación de los procedimientos de soldadura, así como tampoco se encuentran soldadores certificados. No se realizan inspecciones visuales ni verificaciones sistemáticas de las uniones soldadas, lo cual representa una oportunidad de mejora en la gestión de calidad del producto.

5.2. Codificación de piezas

Como ya se mencionó anteriormente, la empresa trabaja por proyectos, desarrollándose habitualmente varios de manera simultánea. Dado que la mayoría de los trabajos corresponden a estructuras metálicas, las piezas a cortar y conformar suelen ser iguales o muy similares en forma y dimensiones, a excepción de algunos elementos específicos, como piezas de anclaje adicionales o componentes nuevos requeridos para una estructura particular.

Por este motivo, resulta indispensable que cada pieza cuente con una codificación específica, aplicable a cada proyecto y a cada etapa del proceso. Anteriormente, esta codificación se realizaba de manera específica: una vez finalizado el diseño general de la estructura por parte de la oficina técnica, se asignaba un código a cada pieza según un criterio interno del ingeniero o del personal de dicha oficina. Este criterio luego era replicado en los planos correspondientes.

Sin embargo, esta práctica generaba ciertos inconvenientes. En cada nuevo proyecto era necesario comunicar nuevamente a los operarios el sistema de codificación adoptado, lo cual derivaba en confusiones, interpretaciones erróneas y pérdidas de tiempo en consultas.

Ante esta situación, se propuso desarrollar un sistema estandarizado de codificación de piezas, el cual fue ajustándose progresivamente durante su implementación. En primer lugar, se definieron los sectores principales a identificar, que son los siguientes:

1. Proyecto al que se hace referencia.
2. Especialidad.
3. Sector del taller.
4. Tipo de pieza.
5. Cantidad de estructuras.
6. Numero de pieza.
7. Revisión.

Luego de varias pruebas, se decidió utilizar únicamente números para la codificación de cada sector, ya que el uso combinado de letras resultaba confuso y poco flexible ante futuras ampliaciones. A continuación, se detalla el criterio adoptado para cada punto:

1. Referencia al proyecto:

Se utiliza el número con el cual se cotiza inicialmente el trabajo. Este número, distinto para cada proyecto, permite identificar de forma rápida la procedencia del código. Generalmente, las cotizaciones se inician con las letras "PV".

2. Especialidad:

Indica el tipo de instalación correspondiente (estructural, eléctrica, etc.). Este apartado se incorporó en una etapa posterior, dado que la empresa realiza también proyectos "llave en mano", que incluyen planos de distintas especialidades además de la estructural.

3. Sector:

Los sectores del taller se numeraron según los procesos más relevantes, especialmente aquellos que requieren planos específicos: corte y conformado, emplacado y pintura.

4. Tipo de pieza:

Considerando la variedad de piezas, se las clasificó por similitud, asignando un número distinto a vigas, parantes, columnas y placas. Estas últimas, al tener múltiples variantes, presentan una subnumeración dentro del mismo código.

5. Cantidad de estructuras:

Este apartado se colocó solamente para los casos en los que hay más de una estructura en el mismo proyecto, para poder identificarlas en los planos y que el código no resulte duplicado.

6. Numero de pieza:

Permite identificar piezas iguales con alguna modificación particular, tratándolas como unidades independientes dentro del sistema.

7. Revisión:

Indica el estado del plano, diferenciando si se encuentra aprobado o pendiente de revisión por parte de la oficina técnica.

Con base en la propuesta inicial, surgió posteriormente la necesidad de simplificar el código para facilitar su identificación directa por parte de los operarios, quienes solían marcar las piezas

manualmente. El nuevo formato mantiene la misma estructura general, pero elimina los apartados de “especialidad” y “revisión”, resultando más ágil para el trabajo en planta.

Finalmente, las configuraciones fueron reunidas en un documento instructivo que se imprimió y distribuyó entre los empleados, con el objetivo de unificar el criterio de codificación en todos los proyectos. Dicho documento puede observarse en el [Anexo A](#), donde se detalla la estructura final del sistema de codificación general.

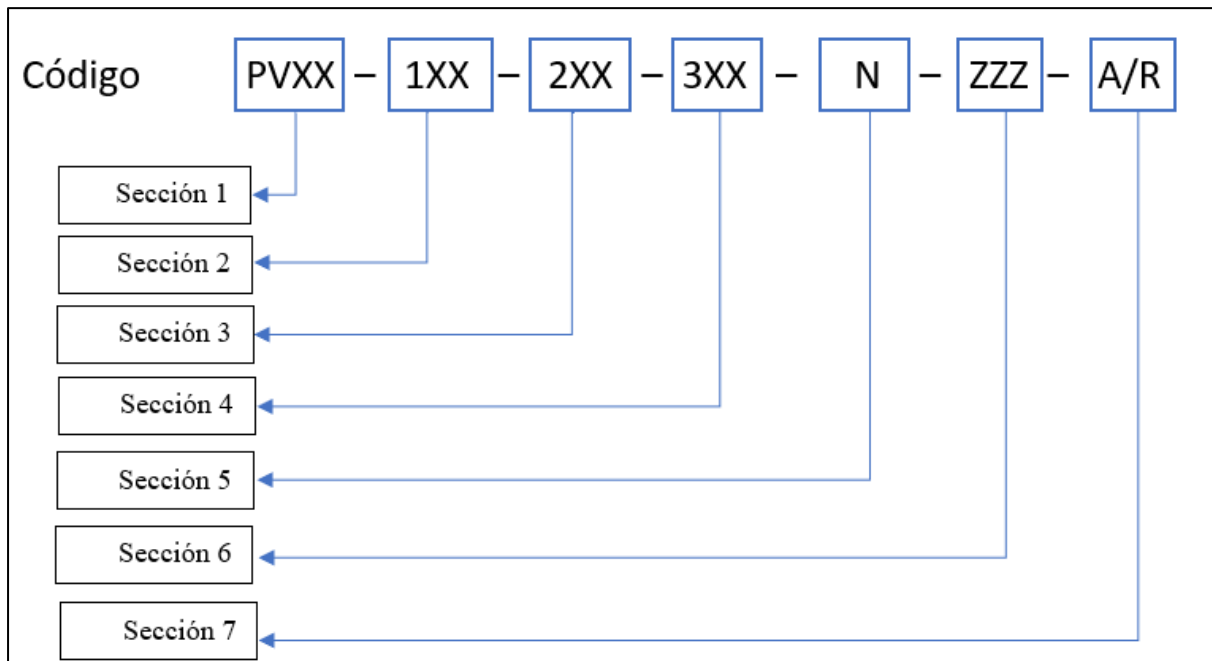


Ilustración 9 - Codificación general de planos. Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo:

PV371 – 101 – 200 – 320 – 1 – 001 – A

En este caso se trata de un plano estructural, de corte y conformado de una viga, en la estructura principal o única. La revisión indica que el plano está aprobado.

La codificación para identificar las piezas en el taller, quedó de la siguiente forma:

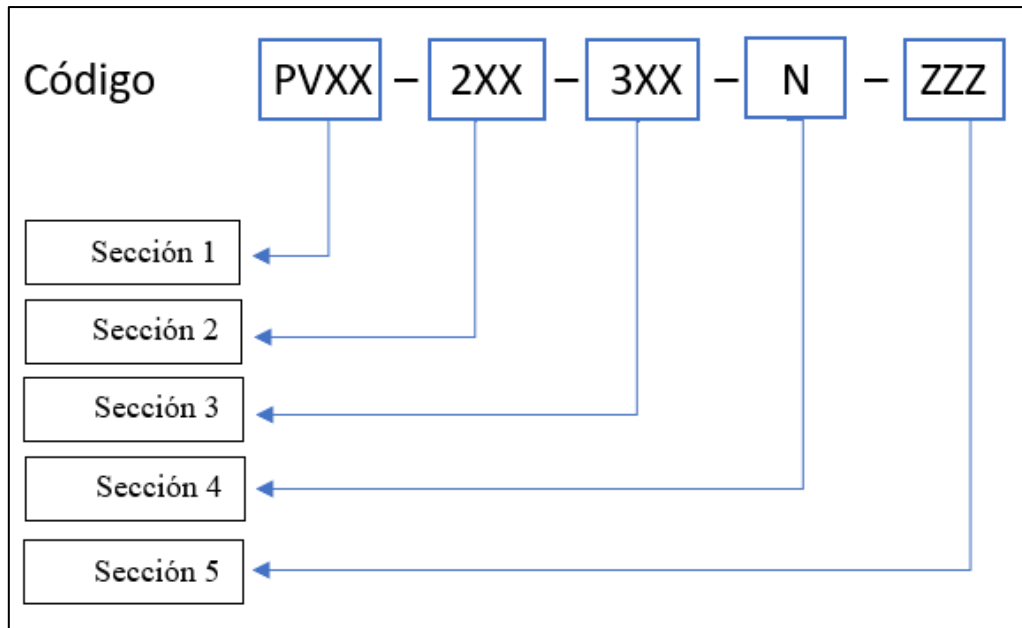


Ilustración 10 - Codificación individual de piezas. Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo:

PV371 – 200 – 330 – 2 – 001

En este caso se trata de un plano de corte y conformado de una columna, en la estructura secundaria.

La implementación del sistema permitió mejorar significativamente la organización y trazabilidad del proceso. Gracias a la unificación de criterios se redujeron los errores de interpretación por parte de los operarios y se agilizó la comunicación entre la oficina técnica y el taller. Por otra parte, la identificación clara de las piezas facilitó el seguimiento de la producción y disminuyó los tiempos destinados a la búsqueda de elementos. Estos beneficios contribuyeron a una mayor eficiencia operativa.

5.3. Capacitación

Con el objetivo de que todos los empleados del taller comprendan e incorporen el nuevo sistema de enumeración de planos y piezas, se realizó una reunión informativa en la que se explicó el funcionamiento del nuevo código y se detallaron las partes que cada sector debía recordar específicamente. Además, se entregaron copias del instructivo a cada empleado y se colocó una copia general en el comedor del taller, de modo que pueda ser consultada cuando sea necesario.

5.4. Etiquetado de piezas

Como se mencionó en los apartados anteriores, las piezas ya conformadas y pintadas son trasladadas a la obra, donde los operarios del sector realizan el montaje de la estructura. Sin embargo, con el formato actual de codificación, las piezas terminadas suelen perder su identificación, ya que el

código se escribe con tinta sobre alguna superficie de la pieza. Esto generaba posibles confusiones en obra respecto a la ubicación correcta de cada elemento y puede ocasionar pérdidas de tiempo significativas dentro del plazo estipulado para la finalización del trabajo.

Por este motivo, se evaluaron diferentes propuestas para el etiquetado de las piezas terminadas. Inicialmente, surgieron tres alternativas:

La primera propuesta consiste en adquirir un micropercutor, el cual, mediante una programación previa, pueda grabar directamente en la chapa los códigos correspondientes a cada pieza. De este modo, el marcado sería permanente y la pintura no cubriría el código. La principal limitación de esta opción es su elevado costo, que puede representar una inversión que la empresa no esté dispuesta a realizar. No obstante, ofrece como ventaja la rapidez y precisión en el grabado de las piezas.



Ilustración 11 - Etiquetador por micropercusión. Fuente: DTMaq.

La segunda propuesta plantea la utilización de una etiqueta en forma de placa. Esta alternativa requiere realizar un pequeño orificio en cada pieza para pasar un hilo o alambre que sostenga la etiqueta, la cual puede fabricarse con recortes de chapa o material plástico. Entre sus ventajas se destacan el bajo costo y la posibilidad de reutilizar retazos de material disponibles en el taller. Además, el orificio puede realizarse fácilmente con una perforadora, sin comprometer la resistencia de la pieza.



Ilustración 12 - Etiquetado por placas identificatorias. Fuente: Pannier Corporation.

La tercera propuesta consiste en escribir el código manualmente sobre la pieza utilizando la máquina de soldadura por alambre (GMAW). En este caso, el cordón de soldadura se traza siguiendo la forma del código, quedando grabado de manera permanente incluso después del pintado. Su principal desventaja es el tiempo adicional que requiere este proceso, además del posible efecto térmico sobre la pieza si no se emplean parámetros adecuados y su acabado estético como último punto desfavorable. Sin embargo, tiene la ventaja de no requerir equipamiento adicional ni gastos significativos.

En función del análisis de las tres alternativas, la más conveniente y la que propongo seleccionar es la segunda opción, correspondiente a las placas identificatorias.

Esta opción ofrece un balance entre bajo costo, simplicidad en su implementación y una modernización del proceso. Además de aprovechar materiales disponibles en el taller, permite incorporar códigos QR en las etiquetas, facilitando que los operarios accedan de forma rápida y en línea a los planos de montaje. Para esto bastaría con contar con un único dispositivo de lectura de

códigos QR (pudiendo ser este un teléfono), provisto por el ingeniero a cargo de la obra, sin necesidad de realizar una inversión adicional. Por otra parte, esta alternativa facilita la identificación de las piezas sin comprometer la integridad estructural de las piezas, así como también hace el proceso de montaje más eficiente y ordenado.

5.5. Implementación del sistema y generación de planos

Para poner en funcionamiento el sistema de codificación desarrollado previamente, se procedió al dibujo de uno de los proyectos que se estaban ejecutando en ese momento. El mismo corresponde a una concesionaria de tractores marca Valtra, ubicada en la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires.

El proyecto contempla dos estructuras: una principal, destinada a la exhibición de tractores, talleres y oficinas comerciales; y una secundaria, destinada al depósito de repuestos y lubricantes. Tanto el modelo de la estructura principal como el de la secundaria fueron elaborados en 3D utilizando el software SolidWorks, tomando como base los planos de AutoCAD con sus respectivas medidas y especificaciones técnicas. La visualización de las estructuras en detalle se puede observar en el [Anexo B](#).

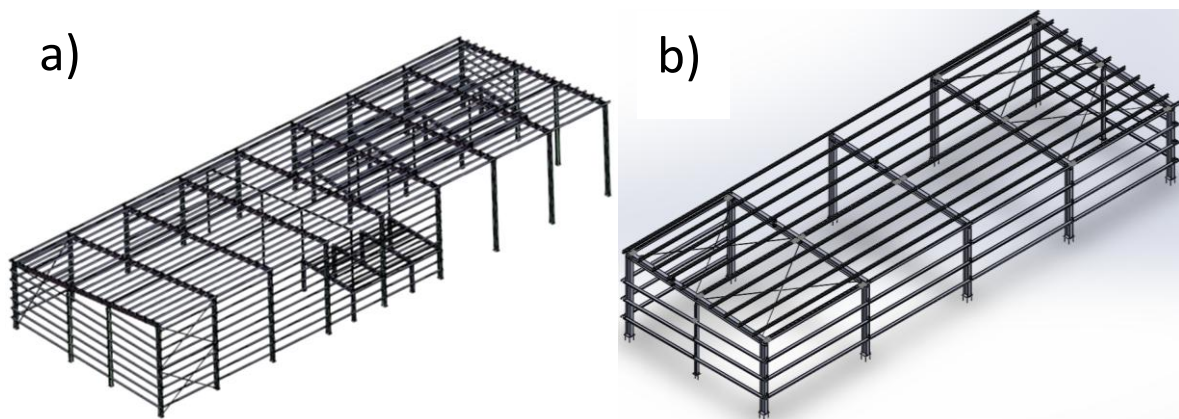


Ilustración 13 - Ilustración 3D de estructuras. a) principal. b) secundaria. Fuente: Elaboración propia.

Una vez finalizada la etapa de modelado, se continuó con la elaboración de los planos de las piezas individuales. En esta instancia se aplicó el sistema de codificación desarrollado, en primer lugar para los planos de corte. Además, se elaboraron planos de montaje correspondientes a la estructura completa. A continuación, se presentan algunos ejemplos donde puede observarse la ubicación del código tanto sobre el plano como en el rótulo. Los planos restantes se incluyen en el [Anexo C](#).

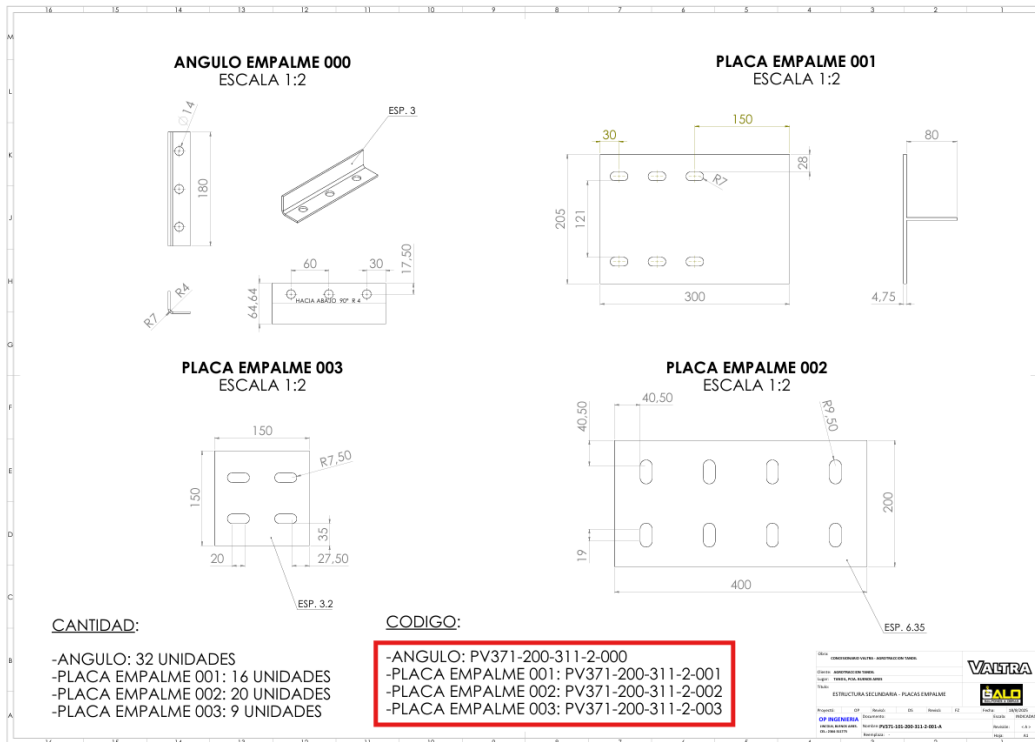


Ilustración 14 - Plano de corte. Fuente: Elaboración propia.

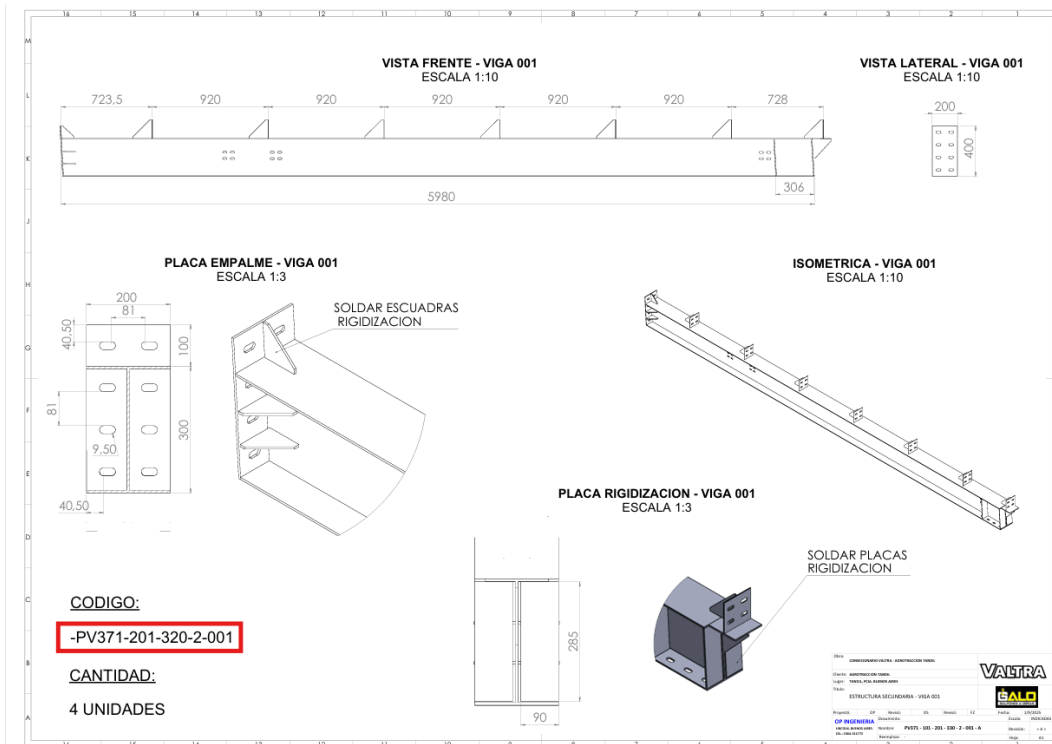


Ilustración 15 - Plano de corte. Fuente: Elaboración propia.



Obra: CONSESIONARIO VALTRA - AGROTRACCION TANDIL		 					
Cliente: AGROTRACCION TANDIL							
Lugar: TANDIL, PCIA. BUENOS AIRES							
Título: ESTRUCTURA SECUNDARIA - VIGA 001							
Proyectó:	OP	Revisó:	DS	Revisó:	FZ	Fecha:	1/9/2025
OP INGENIERIA		Documento:		Escala:		INDICADAS	
LINCOLN, BUENOS AIRES. CEL.: 2364-311773		Nombre: PV371 - 101 - 201 - 330 - 2 - 001 - A		Revisión:		< A >	
		Reemplaza: -		Hoja:		A1	

Ilustración 16 - Rótulo. Fuente: Elaboración propia.

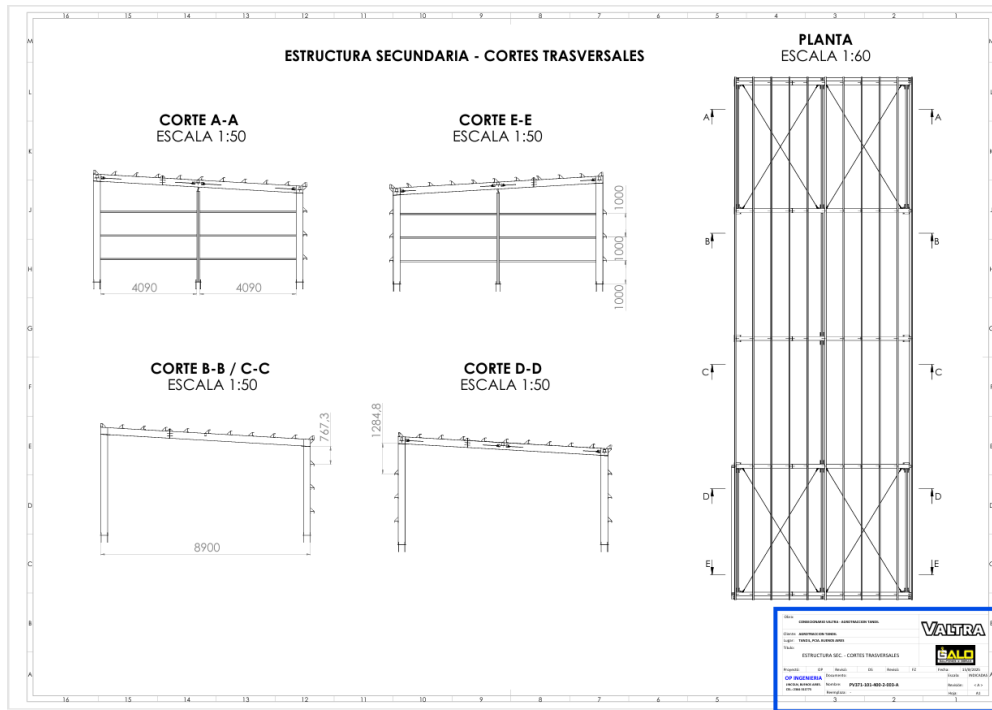


Ilustración 17 - Plano de conformado. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se realizó el despiece de las piezas a cortar en AutoCAD, con el objetivo de generar posteriormente los archivos de corte para el pantógrafo. Para ello se utilizó el software FastCAM, provisto junto con la máquina, el cual convierte los dibujos en 2D (importados desde archivos CAD) en trayectorias de corte interpretables por distintos tipos de equipos. Este programa permite definir parámetros como velocidades, secuencia de corte, puntos de inicio y finalización del proceso, entre otros.

Complementariamente, se empleó el programa FastNEST, perteneciente a la misma familia de software, para optimizar el anidado o agrupamiento de piezas dentro de una misma chapa, con el fin de reducir los tiempos de mecanizado y el desperdicio de material.

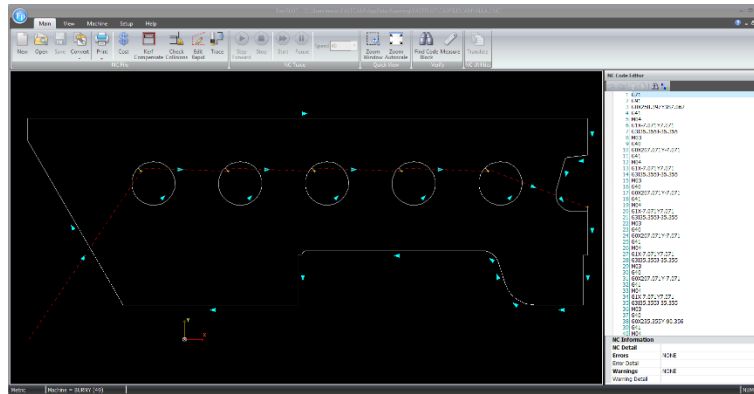


Ilustración 18 - Interfaz del software FastCAM. Fuente: FastCAM Inc.

En función de este último punto, se realizó un análisis sobre las almas y alas de las vigas y columnas de cada estructura, buscando reducir sus dimensiones nominales hasta un punto que permitiera aprovechar la totalidad del ancho y largo de la chapa (6 m x 1,5 m), minimizando los recortes y el desperdicio. Esta reducción fue posteriormente verificada por el ingeniero responsable, a fin de garantizar que no afectara la resistencia estructural del conjunto.

5.6. Caracterización y evaluación de uniones soldadas

Uno de los puntos mencionados en el análisis del proceso de fabricación hace referencia a la ausencia de controles en el área de soldadura. Durante la recorrida por el taller se observó que no se dispone de informes que detallen los parámetros de soldadura utilizados, ni se han realizado inspecciones visuales o ensayos que verifiquen la efectividad de las uniones y la calidad de ejecución por parte de los operarios.

En función de ello, se procedió a realizar un relevamiento de los parámetros de operación de los equipos de soldadura del taller, junto con una inspección visual y mediciones de algunos de los cordones ejecutados durante el conformado de piezas correspondientes a distintos proyectos en curso.

Como criterio de referencia se adoptó la norma AWS D1.1M:2015 “Código de soldadura estructural – Acero”, la cual establece los requisitos para la soldadura de estructuras de acero utilizadas en edificios, puentes, torres y otras construcciones industriales o civiles. Su objetivo principal es garantizar la resistencia, seguridad y calidad de las uniones soldadas en componentes estructurales. Para este caso, se aplicaron específicamente los Capítulos 5 y 6, que tratan sobre la fabricación y la inspección de las uniones soldadas, respectivamente.

En el taller se realizan tanto soldaduras a tope (biseladas y no biseladas) como soldaduras en T o de filete. Tal como se mencionó anteriormente, existen dos métodos principales de ejecución: las uniones alma-ala en vigas y columnas se realizan mediante carro semiautomático, mientras que las uniones

entre accesorios o placas en cada viga o columna son efectuadas manualmente por los operarios soldadores.

5.6.1. Simbología

Como medida preliminar, y con el objetivo de establecer las condiciones bajo las cuales se ejecutarán los cordones de soldadura, se implementó un sistema de simbología para cada plano de conformado correspondiente a los proyectos en curso.

Actualmente, los planos no cuentan con simbología de soldadura, y los operarios tampoco poseen un conocimiento formal sobre la misma. Por tal motivo, se prevé la incorporación de una capacitación breve destinada al personal de soldadura, que permita familiarizarse con el sistema adoptado, considerando que las uniones empleadas suelen ser similares entre las distintas piezas de los proyectos.

Para definir la simbología adecuada, fue necesario determinar previamente los tamaños mínimos de los cordones de soldadura, tanto en uniones en filete como en T. Estos valores se establecieron según la Tabla 5.7 de la norma, la cual indica el tamaño mínimo del cordón en función del espesor de los metales base a unir.

Como se mencionó en apartados anteriores, los espesores de material más comunes utilizados en los proyectos son $\frac{1}{4}$ " (6,35 mm), $\frac{5}{16}$ " (7,9 mm) y $\frac{3}{8}$ " (9,5 mm). De acuerdo con la norma, el tamaño mínimo de soldadura para el conformado de perfiles es de 5 mm. En el caso de las placas y rigidizadores (que suelen tener espesores menores, del orden de $\frac{1}{8}$ " (3,2 mm)) el cordón puede ser de 3 mm como mínimo. Por lo tanto, se adoptó un tamaño de cordón estándar de 5 mm, teniendo en cuenta además que la norma establece que la garganta del cordón no debe superar el espesor mínimo del metal base.

Una vez definidos estos parámetros, se procedió a aplicar la simbología correspondiente en los planos de conformado.

A modo de ejemplo, en la ilustración 19 se presenta un plano completo con la simbología implementada. Los planos restantes pueden consultarse en el [Anexo D](#).

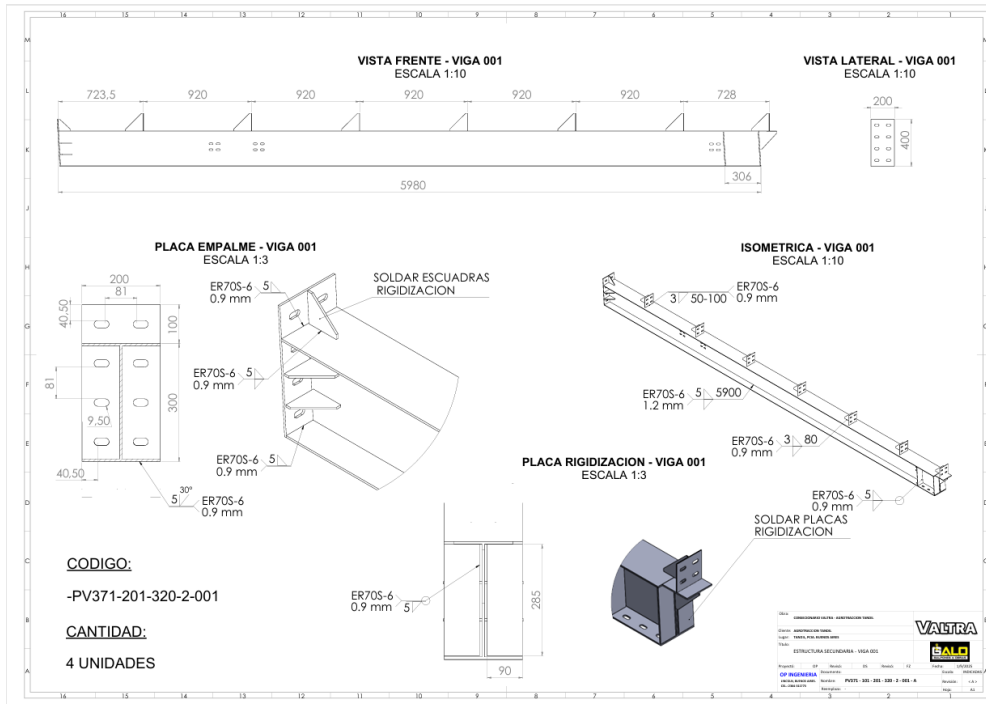


Ilustración 19 - Simbología de soldadura en plano de conformado. Fuente: Elaboración propia.

5.6.2. Relevamiento de parámetros

Durante el recorrido por el taller se realizó un relevamiento de los parámetros de soldadura empleados por los operarios, así como de los equipos y consumibles utilizados.

Con esta información, y tomando como referencia el Anexo M de la norma, se confeccionó un formulario en el cual se detallan las especificaciones de las juntas realizadas, junto con los parámetros medidos. En este caso, como en el taller se cuenta tanto con equipos de soldadura semiautomática manejada por los operadores de forma manual como con un carro de soldadura automático, se especificaron los parámetros para los dos tipos de equipo ya que estos utilizan distintas especificaciones. El relevamiento de parámetros y las especificaciones de los equipos pueden consultarse en el [Anexo E](#).

5.6.3. Medición geométrica de las uniones

Con el propósito de verificar la calidad de los cordones ejecutados, se efectuaron registros fotográficos y posteriormente mediciones sobre distintas uniones pertenecientes a dos proyectos: uno ubicado en Tandil (en etapa inicial) y otro en Buenos Aires (en una fase avanzada de ejecución). Se seleccionaron como muestra dos vigas ya conformadas, sobre las cuales se analizaron los siguientes tipos de uniones:

- Unión ala-alma
- Unión ala-ala
- Unión de refuerzos

En el caso del proyecto de Buenos Aires, se pudieron relevar varias uniones ya emplacadas, mientras que en el proyecto de Tandil (aún en etapas iniciales) solo se analizó la unión ala–alma. En total, se registraron cinco fotografías para su análisis comparativo.

Para la medición geométrica de los cordones se utilizó un calibrador o galga de soldadura y una regla metálica. Algunas de estas mediciones fueron calculadas mediante el software “Image J” el cual permite, mediante el ajuste de una escala real, tomar medidas sobre imágenes capturadas. Se efectuaron las siguientes mediciones:

- **Altura de refuerzo:** Es el exceso de metal depositado por encima de la cantidad necesaria para rellenar la junta, y puede encontrarse tanto en la cara como en la raíz del cordón.
- **Desalineación:** Es la cantidad de desfase o desajuste que existe a través de una unión a tope entre miembros de igual espesor.
- **Longitud de pierna:** En una soldadura de filete de lados iguales, el tamaño se expresa como la longitud del lado del triángulo rectángulo isósceles más grande que pueda inscribirse en la sección transversal del cordón. En una soldadura a tope, se define como la profundidad de penetración de la junta.
- **Garganta real:** Es la distancia más corta desde la raíz de la soldadura hasta la cara de la soldadura, considerando la forma real del cordón, incluyendo la concavidad o convexidad.
- **Convexidad:** Es la distancia perpendicular máxima desde la superficie de un cordón de filete convexo hasta la línea que une los pies del cordón.
- **Profundidad de socavado:** Medida de la depresión, surco o reducción del espesor del metal base en la unión con el refuerzo.

Todos los resultados obtenidos sobre cada cordón se pueden consultar en el [Anexo E](#).

5.6.4. Identificación de defectos de soldadura

Posterior al registro fotográfico y la toma de medidas correspondiente, se evaluaron e identificaron los defectos de soldadura en cada una de las uniones a analizar. Como breve introducción teórica, a continuación se describen los principales defectos o discontinuidades que pueden presentarse en un cordón de soldadura:

1. **Falta de fusión:** Se produce cuando no hay fusión entre el metal de aporte y las caras de fusión. Puede deberse a una temperatura insuficiente del metal base, técnica inadecuada, limpieza deficiente, corriente insuficiente o diseño de junta incorrecto.
2. **Falta de penetración de la junta:** Se presenta en la raíz de una soldadura a tope cuando el metal de aporte no atraviesa todo el espesor de la junta o no alcanza la profundidad especificada. El área no fusionada genera concentraciones de tensión que pueden

provocar la rotura de la unión sin deformación apreciable. Suele deberse a una velocidad de avance elevada o a una corriente insuficiente.

3. Socavado: Es la fusión excesiva de un borde lateral del cordón, formando una depresión o surco agudo, o una reducción del espesor del metal base en la unión con el refuerzo. Generalmente se asocia a una técnica inadecuada, velocidad de avance elevada, corriente excesiva o longitud de arco excesiva. Estas discontinuidades generan muescas mecánicas que pueden concentrar esfuerzos.
4. Falta de relleno: Es una depresión en la superficie del cordón, ya sea en la cara o en la raíz, que queda por debajo del nivel del metal base adyacente. Ocurre cuando no se deposita suficiente material de aporte o no se completa el volumen necesario, resultando en un cordón subdimensionado.
5. Grietas: Las uniones soldadas pueden agrietarse cuando las tensiones superan la resistencia del metal base o del metal de soldadura. Las grietas en caliente ocurren durante la solidificación, mientras que las grietas en frío se desarrollan a temperaturas próximas a la ambiente. Se clasifican en tres tipos: transversales, longitudinales y de cráter.
6. Porosidad: Resulta de la incorporación de contaminantes o humedad al baño de soldadura. Estas discontinuidades suelen ser esféricas o alargadas. Pueden evitarse manteniendo una adecuada limpieza, protección y condiciones de operación, evitando corrientes altas y arcos largos.
7. Irregularidades superficiales:
 - Ondulaciones del cordón: depresiones o variaciones en la superficie de la soldadura.
 - Salpicaduras: partículas de metal expulsadas durante el proceso.
 - Marcas de arco: resultan del encendido del arco fuera del área de soldadura, generando zonas fundidas y resolidificadas o alteraciones del perfil superficial.

Para cada unión se realizaron observaciones, las cuales se describen a continuación:

Unión ala-alma (Columna Tandil)

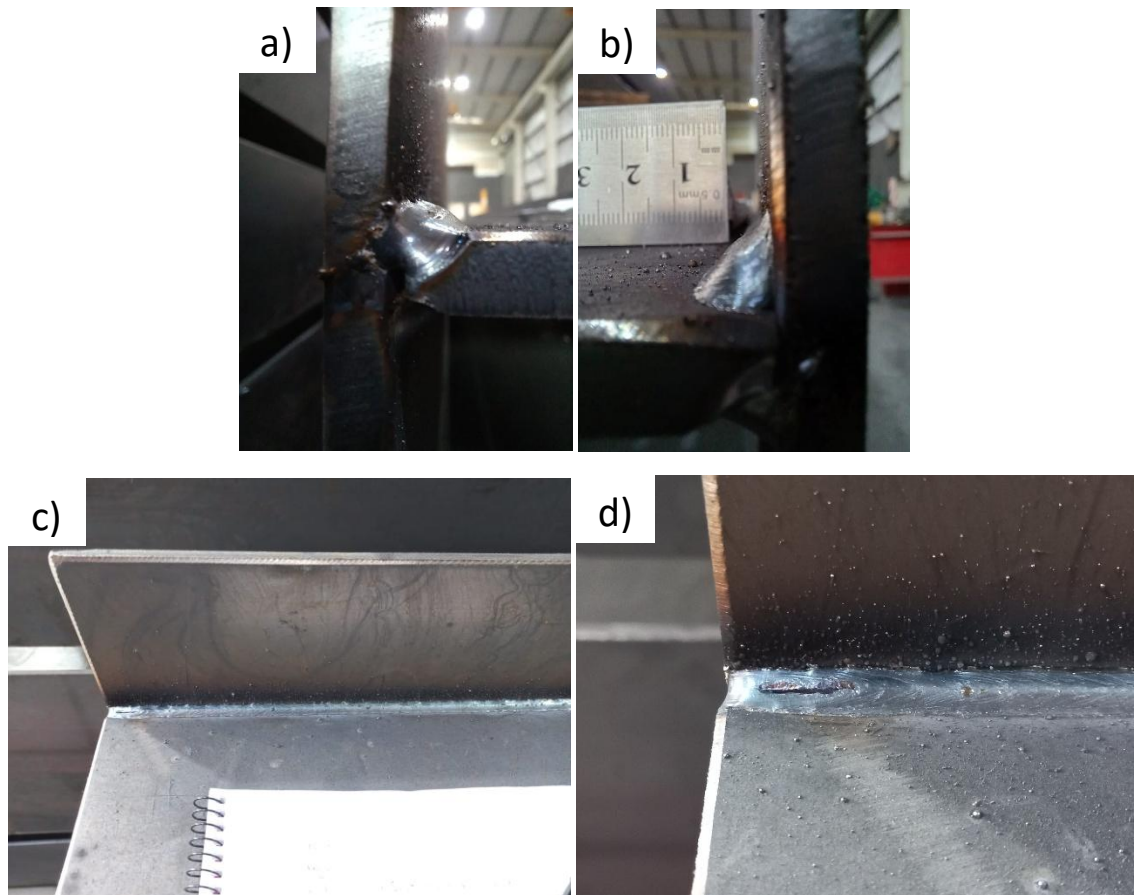


Ilustración 20 - Unión ala-alma columna Tandil. Fuente: Elaboración propia.

Observaciones:

- El cordón presenta un aspecto uniforme, con un perfil relativamente bajo y continuidad a lo largo de toda la unión.
- Presencia de salpicaduras alrededor del cordón.
- Se identifica una posible falta de fusión o de penetración en la raíz (ilustraciones a y b), condición que podría favorecer la aparición de grietas o la concentración de tensiones.
- Se presenta sobre el final un cráter de final de soldadura (ilustración d), el cual podría originarse por un levantamiento prematuro de la torcha, y puede ser un posible lugar de inicio de grietas.
- Asimismo, se evidencia que la unión no alcanza una penetración completa; además, puede observarse una distorsión del ala respecto del alma de la viga (ilustraciones a y b).

Unión ala-alma (Columna Buenos Aires)



Ilustración 21 - Unión ala-alma columna Buenos Aires. Fuente: elaboración propia.

Observaciones:

- Se puede observar un perfil continuo y uniforme. No obstante, cada cierta distancia, se evidencia un exceso de refuerzo lo que hace el cordón ligeramente más ancho.
- Presencia de un leve socavado sobre el cordón.
- El cordón muestra un aspecto relativamente delgado y con un relieve acentuado, lo cual podría asociarse a una falta de penetración o a una temperatura de soldadura insuficiente.

Unión alma-alma (columna Buenos Aires)



Ilustración 22 - Unión alma-alma columna Buenos Aires. Fuente: Elaboración propia.

Observaciones:

- El cordón es largo y continuo, sin embargo se aprecian ciertas irregularidades en el mismo, posiblemente asociadas a variaciones en la velocidad de avance o en el pulso del soldador.
- En determinados sectores del cordón se observa un refuerzo excesivo.

- La superficie del cordón presenta una rugosidad perceptible, la cual podría ser producto de una inestabilidad en los parámetros de soldadura durante la ejecución de la unión.
- Se pueden evidenciar algunos puntos de socavado a lo largo del cordón.
- El patrón de las ondas del cordón genera una línea de continuidad en su zona central, condición que podría favorecer la iniciación de agrietamientos en caliente.

Unión ala-ala (columna Buenos Aires)



Ilustración 23 - Unión ala-ala columna Buenos Aires. Fuente: Elaboración propia.

Observaciones:

- En la zona superior del cordón se identifica un cráter de final de soldadura.
- El cordón presenta interrupciones y cortes, no resulta completamente continuo ni uniforme.
- Se observan puntos de socavadura en distintos sectores.
- Presencia de salpicaduras a lo largo del cordón.
- Desde la vista superior, se observa una penetración completa.

Unión refuerzos (columna Buenos Aires)



Ilustración 24 - Unión refuerzos columna Buenos Aires. Fuente: Elaboración propia.

Observaciones:

- A lo largo del cordón se observan pequeños puntos superficiales, asociados al uso de antiadherente o anti-spatter en exceso, el cual puede retener los gases de soldadura generando residuos visibles en la superficie del cordón.
- Se identifica la presencia de algunas salpicaduras.
- La medida del refuerzo resultó demasiado alta, lo que podría deberse a una velocidad de avance reducida por parte del operario o a parámetros de soldadura configurados por encima de lo adecuado. Esta condición puede provocar una falta de fusión.

5.6.5. Propuestas de mejora

En base a los parámetros relevados y a las observaciones realizadas, se propusieron una serie de medidas orientadas a mejorar la ejecución y terminación de las uniones soldadas:

- ✓ Para los cordones ejecutados mediante el carro automático (uniones ala-ala), se recomienda ajustar levemente el ángulo de avance de la torcha hacia abajo (actualmente de 21°) con el objetivo de mejorar la estabilidad del proceso y obtener cordones más uniformes y limpios. Asimismo, se sugiere verificar el ángulo de trabajo y mantenerlo en torno a 45° , de modo que el aporte térmico se distribuya adecuadamente entre las chapas y se logre una penetración homogénea. Como medida complementaria, podría implementarse una guía en la torcha que permita controlar visualmente los ángulos de trabajo y de avance.

- ✓ Con el objetivo de evitar la formación de cráteres al final del cordón, se recomienda instruir al operador para que reduzca gradualmente los parámetros de soldadura al finalizar la unión, evitando así un enfriamiento brusco que dé lugar a este defecto.
- ✓ En cuanto al uso del antiadherente, para prevenir la presencia de residuos sobre el cordón y garantizar una correcta protección de las chapas frente a salpicaduras, se sugiere aplicar el producto únicamente sobre el borde exterior de la boquilla, evitando mojar el interior y el difusor. Además, se aconseja sacudir o limpiar el exceso antes de reanudar la soldadura y verificar periódicamente la limpieza de la boquilla, ya que la acumulación de antiadherente fundido puede afectar el desempeño del proceso. Otra alternativa puede ser utilizar un antiadherente en aerosol, los cuales suelen ser más utilizados y dejan menor cantidad de residuos.
- ✓ Por último, para mejorar la terminación de las uniones a tope, se considera necesario optimizar el proceso de biselado, ya que se observaron formas irregulares y una falta de estandarización en los valores empleados. Una solución podría ser incorporar una biseladora manual, o un dispositivo como una galga de soldadura que permita medir los ángulos de bisel a medida que se van realizando.

En general, todos los cordones de soldadura fotografiados presentan algún tipo de defecto. Sin embargo, es necesario prestar especial atención a aquellos que se ubican en las zonas más solicitadas o estructuralmente relevantes, como las uniones entre vigas y columnas, las cuales están sometidas principalmente a cargas de compresión. En estos casos, se observaron ciertos detalles que, si bien no representan un estado crítico de la unión (ya que no existen evidencias de fallas estructurales asociadas), resulta conveniente analizar con mayor detenimiento.

Por este motivo, se considera adecuado realizar ensayos complementarios en los sectores donde se detectaron cráteres, huecos o falta de material de aporte. En dichos casos, la aplicación de un ensayo de tintas penetrantes permitiría determinar si los defectos afectan la integridad o eficiencia de la unión. Por otro lado, en aquellas soldaduras que evidencian falta de fusión o un exceso de refuerzo, especialmente en las uniones ala-alma de gran longitud, sería recomendable la realización de ensayos radiográficos. Este método posibilitaría verificar la continuidad de la fusión entre los materiales a lo largo de toda la junta, asegurando que la unión sea efectiva en toda su extensión.

6. Conclusiones

La práctica profesional permitió aplicar de manera integral los conocimientos adquiridos durante la carrera, vinculando conceptos teóricos con la realidad operativa de una empresa dedicada al diseño y construcción de estructuras metálicas. A partir del análisis del proceso productivo, se identificaron problemáticas asociadas a la falta de estandarización en la documentación técnica, la ausencia de trazabilidad en las piezas fabricadas y la inexistencia de controles sistemáticos de calidad en soldadura.

En este contexto, se diseñó e implementó un sistema de codificación y trazabilidad que permite identificar las piezas desde su diseño hasta su montaje en obra, mejorando la comunicación entre la oficina técnica y el taller. La elaboración del instructivo de codificación, junto con la capacitación al personal, contribuyó a unificar criterios de trabajo y a reducir errores en la identificación y armado de las estructuras.

Asimismo, la propuesta de etiquetado de piezas y la incorporación de herramientas digitales, como la posibilidad de vincular códigos QR a planos de montaje, representaron un avance hacia la modernización del sistema productivo, optimizando tiempos y recursos.

En paralelo, el relevamiento de parámetros y la identificación de defectos en cordones de soldadura permitieron formular propuestas concretas de mejora orientadas a incrementar la eficiencia y la confiabilidad de las uniones estructurales. Todo esto se complementó con la elaboración de material gráfico, planos y documentación técnica que fortalecen la gestión de la producción.

En síntesis, la práctica no solo aportó herramientas útiles para la empresa, sino que también constituyó una experiencia enriquecedora desde el punto de vista profesional, al permitir aplicar y consolidar competencias vinculadas con la gestión de la producción, el diseño mecánico y el control de calidad industrial.

7. Bibliografía

[1] American Welding Society, *AWS D1.1M/D1.1:2015 Código de soldadura estructural – Acero*. Miami, FL: AWS, 2015.

[2] American Welding Society, *Welding Inspection Handbook*, 3rd ed. Miami, FL: AWS, 2015.

[3] American Welding Society, *AWS A2.4:2012 Símbolos estándar para soldadura, soldadura fuerte y ensayos no destructivos*. Miami, FL: AWS, 2012.

[4] “CIRSOC 304 Capítulo 4” Studylib. [En línea]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/6044491/cirsoc-304-cap%C3%ADtulo-4>.

[5] Galo Galpones y Obras, “*Proyectos y servicios de estructuras metálicas*”, Galo. Disponible en: <https://galo.com.ar/>.

[6] S. García Garrido, *Organización y gestión integral del mantenimiento*. España: Ediciones Díaz de Santos, n.d.

[7] Tauro Soldaduras, “*Productos y servicios*” Tauro.com.ar. Disponible en: <https://www.tauro.com.ar/>.

8. Anexos

8.1. Anexo A: Instructivo de codificación

<https://drive.google.com/drive/folders/1kzoAfOv9IFfLj1ipl190QWEW9CH6XwmR?usp=sharing>

8.2. Anexo B: Modelado 3D de estructuras

<https://drive.google.com/drive/folders/1Me9i61klaaejH4dOPe05vyMxLg837TKK?usp=sharing>

8.3. Anexo C: Planos de estructura secundaria

https://drive.google.com/drive/folders/1T_PS5zZeaRIUaE5vg_xs8SjZwpcRyDc?usp=sharing

8.4. Anexo D: Planos implementación de simbología

<https://drive.google.com/drive/folders/17GI0yhzM4FnwLAHOmITgT5ad4Dr-OK0?usp=sharing>

8.5 Anexo E: Formularios de relevamiento de parámetros y análisis de soldadura

<https://drive.google.com/drive/folders/1XfgPTX3qzK3Ch-upAxf1IXjP8DrGRwK?usp=sharing>

9. Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia por brindarme su apoyo incondicional, por la paciencia y la comprensión en todo momento a lo largo de estos años.

A mis amigos y compañeros, tanto a quienes me acompañan desde hace tiempo como a quienes se sumaron o quedaron en el camino, por compartir cada etapa del proceso haciendo siempre más llevadero el recorrido.

A la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, por la formación brindada y por haberme permitido desarrollar las herramientas necesarias para mi crecimiento académico y profesional. Agradezco especialmente a sus directivos y docentes, por su dedicación y compromiso en cada etapa de mi carrera. Además, quiero agradecer al Laboratorio de Ensayos de Materiales y Estructuras de la universidad, por abrirme sus puertas durante el transcurso de mi formación y brindarme la oportunidad de incorporar nuevos conocimientos y experiencias, tanto académicas como personales.

Por último, quiero agradecer a mis tutores, Octavio Petrone en representación de GALO y Patricio Arrien en representación de la UNNOBA por su orientación, sus consejos y el tiempo dedicado durante la práctica profesional efectuada.

Gracias.