

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires

Implementación de herramientas de gestión y diseño, aplicadas a la producción de elementos de máquinas agrícolas.

Carrera: Ingeniería Mecánica

Práctica Profesional Supervisada

Estudiante: Andrés Martín Arias

Tutor docente: Martín Montecelli

Tutor de empresa/Institución/Organización: Jerónimo Nicolás Brandana

Fecha de presentación: 05/02/2026

CONTENIDO

Resumen	2
Introducción	2
Objetivos	3
Plan de trabajo y carga horaria	3
Alcances	4
Marco teórico	4
Descripción general de la planta y de los procesos	11
Lay Out de la planta industrial	11
Proceso productivo	13
Actividades de gestión desarrolladas	22
Situación inicial	22
Mejoras impulsadas	24
Resultados obtenidos	33
Actividades de diseño desarrolladas	37
Situación inicial	37
Mejoras impulsadas	38
Ejemplo de aplicación 1: Barra de acarreador modelo Vassalli 7500	41
Ejemplo de aplicación 2: Pateador para maíz caído	50
Conclusiones	57
Bibliografía de referencia	59

Resumen

En el siguiente informe se detalla el procedimiento realizado por el alumno Andrés Martín Arias para la implementación de un sistema de diseño, gestión y fabricación de piezas metálicas en la empresa Brandana Industria Metalúrgica Junín S.R.L a fin de acreditar las prácticas profesionales pertenecientes al plan de estudio de la carrera de ingeniería mecánica en la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

Introducción

La empresa Brandana Industria Metalúrgica Junín S.R.L está ubicada en la ciudad de Junín, provincia de Buenos Aires; desde el año 2010 se dedica al diseño y fabricación de columnas y estructuras metálicas de calidad, no solo para todo el territorio nacional, sino también para países limítrofes. Brinda además asesoramiento especial en cada una de las obras, logrando una sociedad de confianza con cada uno de sus clientes por medio de la adaptación de sus productos a las diferentes condiciones según la zona geográfica y aplicaciones de cada columna, respetando siempre la normativa vigente.

Durante más de quince años, la empresa ha sabido llevar adelante su misión, la de brindar soluciones en el alumbrado público, decorativo y deportivo, generando productos de calidad que se adapten a las necesidades específicas de cada cliente, ayudando a concretar obras en todo el país con la calidad, celeridad y compromiso que se requiere, con ética, responsabilidad y compromiso social.

Además de ello, han logrado ser una empresa referente en el sector de alumbrado público, aplicando innovación que nos permita adaptarnos a los cambios y generar sociedades de confianza con sus clientes, apostando a lo simple, pero con la calidad que se requiere.

Sin embargo, no conforme con ello, desde el año 2023 emprendieron su camino a través del diseño y producción de elementos de máquinas agrícolas, para convertirse en proveedores exclusivos de una empresa local dedicada a la comercialización de maquinarias y sus repuestos. Esto, derivó en la creación de un segundo sector en la empresa dedicado únicamente a esta parte del negocio,

donde la misma ha invertido tanto en bienes de capital importados, como en mano de obra capacitada para tal fin.

Fue aquí, donde el alumno realizó las tareas designadas como parte de las actividades de la práctica profesional supervisada, que se detallan a continuación.

Objetivos

El **objetivo general** de la actividad fue la implementación de mejoras al sistema de diseño, fabricación y gestión de productos agrícolas brindados por la empresa, aplicando conocimientos adquiridos durante el periodo de formación profesional.

Para ello, fueron planteados los siguientes **objetivos específicos**:

- Relevamiento de información acerca de los procesos productivos disponibles.
- Relevamiento de información acerca de los productos manufacturados.
- Identificación, medición y recopilación de datos sobre el proceso productivo.
- Creación e implementación de un sistema de codificación para los productos manufacturados.
- Creación y aplicación de un procedimiento de diseño de piezas.

Plan de trabajo y carga horaria

Para la ejecución de las tareas descriptas en el presente informe, se estableció un plan de trabajo con una duración total de 200 horas, distribuido en jornadas de 4 horas diarias, alcanzando un total de 20 horas semanales.

A continuación, se presenta un diagrama de Gantt en el cual se detallan las distintas tareas desarrolladas junto con su correspondiente cronología, permitiendo visualizar la secuencia, duración y superposición de las actividades llevadas a cabo durante la práctica.

N°	ACTIVIDADES	TIEMPO DE DURACIÓN									
		SEMANAS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Relevamiento de información sobre los procesos productivos	■									
2	Relevamiento de información sobre los productos manufacturados	■									
3	Recopilación de planos de cada producto										
4	Redacción de informe		■	■	■	■	■	■	■	■	■
5	Modelado de productos en SolidWorks		■	■	■	■	■	■	■	■	■
6	Confección de tabla de registro de pedidos		■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	Primer informe de grado de avance			■	■	■	■	■	■	■	■
8	Confección de archivos para producción de productos							■	■	■	■
9	Segundo informe de grado de avance							■	■	■	■
10	Correcciones								■	■	■
11	Entrega del informe final									■	■

Ilustración 1: Diagrama de Gantt para cada una de las tareas realizadas

Alcances

La práctica profesional supervisada se realizó dentro del sector de diseño y fabricación de elementos de máquinas agrícolas, dejando fuera de alcance aquellos productos manufacturados en el sector dedicado a la construcción de postes de alumbrado público.

Marco teórico

El desarrollo de las actividades detalladas en el presente informe se inscribe dentro del marco conceptual de la teoría de la administración de las operaciones, disciplina que aborda el diseño, la planificación, la gestión y la optimización de los procesos productivos y de prestación de servicios. En este contexto, el análisis se centra en la aplicación de principios y herramientas orientadas a mejorar la eficiencia operativa, el uso racional de los recursos y el cumplimiento de los objetivos organizacionales.

En particular, el informe aborda una serie de conceptos clave propios de la administración de las operaciones, los cuales constituyen la base teórica para la evaluación y mejora de los sistemas productivos analizados, entre los que se destacan:

Manufactura

Desde un punto de vista tecnológico, es la aplicación de procesos físicos y químicos para modificar las propiedades geométricas y apariencia de un material a fin de obtener un producto. Desde el punto de vista económico, sin embargo, es la transformación de materiales en productos con un valor agregado por medio de operaciones de procesamiento.

Producto

Se entiende por producto a todo resultado generado por un sistema de producción, el cual puede materializarse tanto en bienes tangibles como en servicios.

Procesos de manufactura

Son el conjunto de operaciones que se realizan para transformar materias primas en productos terminado; requieren de diversos recursos, como maquinaria, herramientas, software, y personal para ser llevados a cabo. Se pueden clasificar en:

- **Procesamiento de materiales:** son aquellas operaciones de conformado, mejoramiento de propiedades, y tratamientos superficiales de materiales.
- **Procesos de ensamblado:** aquellos que se ocupan de unir, de manera permanente o no permanente a uno o más elementos de un producto.

Sistemas de producción

Es el conjunto de personas, equipos y procesamientos organizados para llevar a cabo los procesos de manufactura; abarca tanto las instalaciones de producción, como aquellos sistemas de apoyo tales como el área de ingeniería, planeación y control, calidad, recursos humanos, etc.

Capacidad

Se define como como la cantidad de recursos disponibles y sus características para alcanzar ciertos objetivos; es una variable limitante de las plantas de manufactura y se puede clasificar en tres grandes grupos:

- **Capacidad productiva:** Es la cantidad máxima de productos que puede manufacturar una organización en un lapso determinado de tiempo, como pueden ser días, semanas, o meses.
- **Capacidad física:** Expresa la cantidad de productos o elementos que pueden ser almacenados en las instalaciones de la planta industrial.

- Capacidad tecnológica: Es el tipo de material y proceso de manufactura que puede ser ejecutado en la planta industrial; queda principalmente definida por los bienes de capital que la empresa posee y el tipo de material que es capaz de manufacturar.

Flujo de procesos productivos

Este concepto tiene en cuenta dos de las variables fundamentales dentro de un sistema de producción, el volumen producido y la variabilidad del producto; se clasifican generalmente en:

- Continuo: Se utiliza generalmente para productos líquidos o semisólidos en donde los mismos se encuentran procesándose y transportándose las 24 horas. Este tipo de flujo de procesos se utiliza cuando el producto es único, su volumen de producción elevado y no se requiere flexibilidad ni en el proceso, ni en el producto. Las refinerías de petróleo son un buen ejemplo.
- Líneas de ensamblaje: Se utiliza para productos discretos tales como autos, elementos de máquinas u otros productos que tienen un elevado volumen de producción. Siguen siendo inflexibles en cuanto a variación de productos, pero cuando se tienen grandes volúmenes de producción los costos se reducen mucho.
- En lotes: En este flujo de procesos los productos se mueven de una estación de trabajo a otra en paquetes. Las maquinarias utilizadas en estos procesos no son específicas sino más bien aptas para varios tipos de trabajos. Esto hace que tenga una mayor flexibilidad respecto a las características de los productos constituidos, pero como contrapartida generan de un mayor nivel de inventarios y el tiempo de producción se ralentiza.
- Talleres de trabajo: Es un caso de flujo de proceso en donde las máquinas son de propósitos generales y se acomodan dentro del espacio físico agrupadas según su funcionalidad. En este caso el producto pasa por las distintas estaciones de trabajo según requiera un proceso u otro, esto hace que la flexibilidad respecto de la variabilidad de productos sea alta, pero se recomienda para bajos volúmenes de producción debido a que en

otro caso los costos de procesamiento son mucho más altos comparados con otros métodos más estandarizados.

- **Proyectos:** En este tipo de flujo de trabajo el producto es único y su construcción cumple con un plazo finito y determinado. Debido a su tamaño en este tipo de flujos de trabajo el producto es inmóvil y son los operarios todos los recursos los que se mueven hacia él.

Tipos de cumplimiento de órdenes

Es un concepto que define la respuesta de un proceso productivo al ingreso de una orden de compra, define otra variable fundamental dentro del proceso como lo es el plazo de entrega; se clasifica en:

- **Producción para almacenar (MTS):** En este caso se produce una determinada cantidad de productos especificados por el fabricante para mantener en inventario. Este tipo de cumplimiento da una respuesta rápida al cliente, pero los productos son más estandarizados.
- **Producción a la orden (MTO):** En este caso los productos los especifica el cliente y se comienzan a producir una vez que el cliente genera una orden de compra. Como contrapartida los plazos de entrega son mayores a costa de una mayor personalización del producto.
- **Ensamble a la orden (ATO):** Este tipo es una mezcla de los otros dos procesos en donde se prioriza la producción de piezas para mantener en stock y recién ensamblar y terminar el proceso productivo una vez que ingresa la orden del cliente. De esta manera se logra mejorar el tiempo de entrega manteniendo una flexibilidad en las características del producto adquirido.

Herramientas de gestión de la producción

Se define como herramientas de gestión de la producción al conjunto de métodos, formularios, informes y registros sistematizados que permiten organizar, estructurar y administrar la información dentro de un sistema productivo. Su finalidad principal es identificar, medir, monitorear y gestionar los distintos recursos de la empresa —tales como materiales, equipos, mano de obra y flujo de información— con el objetivo de optimizar el proceso de manufactura

y asegurar una transición eficiente y controlada desde la etapa de diseño hasta la materialización del producto.

Dentro de este conjunto de herramientas se incluyen, entre otras, las siguientes:

- **Codificación:** Consiste en un sistema de identificación, generalmente de carácter alfanumérico, que garantiza la identificación unívoca y la trazabilidad de productos, materias primas, componentes, maquinarias y documentación asociada. La codificación puede ser no significativa, cuando el código cumple exclusivamente la función de diferenciar un elemento de otro; o significativa, cuando además de la identificación incorpora información estructurada que permite localizar, clasificar o reconocer características relevantes del objeto codificado.
- **Indicadores clave de desempeño:** Los KPI son métricas cuantificables utilizadas para evaluar el desempeño de las actividades y procesos dentro de un sistema productivo, en relación con objetivos previamente establecidos. Se caracterizan por ser objetivos, medibles y basados en datos verificables, constituyendo una herramienta fundamental para el control del rendimiento, la detección de desvíos y la toma de decisiones en los distintos niveles de gestión.
- **Planillas de inspección:** Son documentos estructurados destinados al registro sistemático de datos asociados a un suceso, operación o proceso productivo. Su utilización permite identificar, evaluar y clasificar no conformidades, fallas o variaciones, sirviendo como base para el análisis de causas y la implementación de acciones correctivas y preventivas.
- **Gráficos de control:** Son herramientas estadísticas empleadas para monitorear la estabilidad y el comportamiento de un proceso a lo largo del tiempo, mediante la representación gráfica de uno o más indicadores relevantes. Facilitan la detección de variaciones anormales, la identificación de tendencias y la verificación del cumplimiento de límites de control preestablecidos, contribuyendo al aseguramiento de la calidad y a la mejora continua del proceso productivo.

Para el desarrollo de las actividades de diseño de elementos de máquinas el informe sigue los lineamientos generales de todo proyecto estructural, cuyo fin último es el de crear una forma que dé adecuada respuesta a ciertas necesidades preestablecidas; fijarle dimensiones para que resista adecuadamente, es decir, con suficiente seguridad; y proponer un procedimiento constructivo factible que permita materializarla.

La segunda fase de la proyección de estructuras, aquella donde fijamos dimensiones a cualquier cuerpo material suficientemente resistente, se trata de un procedimiento metodológico y sistemático que consta de las siguientes actividades a realizar:

1. **Recolección de datos y condiciones iniciales del problema:** En esta etapa se debe anotar todo aquello que deba tenerse en cuenta a la hora de diseñar la pieza en cuestión referido no solo a su geometría (dimensiones máximas, dimensiones mínimas, tipo de material, esbeltez, forma de la sección, etc.) sino también condiciones del entorno y solicitaciones bajo las cuales deba trabajar la misma (temperatura, humedad, concentración de esfuerzos, rotaciones, efectos de cargas dinámicas, etc.)
2. **Boceto del modelo de referencia:** En esta etapa se realiza un dibujo con la geometría final que creemos o imaginamos que debe tener la estructura una vez dimensionada y se detalla también el tipo de vínculos con los cuales contamos entre la pieza y el entorno.
3. **Construcción del diagrama de cuerpo libre:** Se aísla el cuerpo en estudio, se debe definir un sistema de referencia y colocar tanto la dirección, como en magnitud y línea de acción de fuerzas y reacciones sobre el elemento.
4. **Resolución del sistema de fuerzas:** Mediante procedimientos físicos y matemáticos debemos resolver satisfactoriamente el sistema de fuerzas presentado, y conocer todas las características de las reacciones en los vínculos de nuestra estructura.
5. **Graficas de sollicitación de esfuerzos:** Una vez solucionado el sistema de fuerzas se debe graficar los diagramas de esfuerzos en la pieza.

6. **Pre – dimensionamiento:** Identificando la sección más solicitada del elemento y basándose en la teoría de la resistencia de los materiales debemos estimar la sección necesaria de cada uno de los elementos estructurales para soportar satisfactoriamente el sistema de fuerzas anteriormente presentado.
7. **Evaluación de efectos de segundo orden:** Con una geometría definida ahora debemos evaluar posibles efectos de segundo orden presentes en la estructura tales como concentración de tensiones, flexo compresión esbelta, flexión compuesta, efectos dinámicos, etc.
8. **Identificación del punto más solicitado de la estructura:** Dentro de la sección más solicitada, debemos realizar un diagrama de sollicitación de esfuerzos y encontrar el punto más solicitado para poder determinar las tensiones principales en dicho punto.
9. **Verificación:** Mediante la aplicación de teorías de falla de los materiales, tales como las teorías de Tresca, Von Mises, Coulomb – Mohr, etc. definir el factor de seguridad real de la pieza.
10. **Dimensionamiento:** Selección final de la sección resistente de cada uno de los elementos de máquinas teniendo en cuenta el nivel de seguridad encontrado en el paso anterior y el nivel de seguridad mínimo aceptable por el proyectista.

Dichos lineamientos se aplicaron para el desarrollo de piezas junto con procesos de ingeniería inversa; estos permitieron adquirir conocimientos sobre productos existentes y aplicar mejoras al desarrollo para lograr cierta ventaja competitiva en el mercado. Este proceso implicó descomponer un sistema, o componente para entender su diseño, funcionamiento y encontrar opciones que optimicen su función, o proceso de fabricación.

Por otro lado, tampoco se dejaron fuera los conceptos de diseño de productos desde un punto de vista de la administración de las operaciones productivas; en este caso el procedimiento consta de seis pasos fundamentales:

1. **Desarrollo del concepto:** En esta primera etapa se define una idea de nuevo producto, basándose en los diferentes enfoques de diferentes departamentos proponiendo diferentes alternativas.

2. **Selección del producto:** En esta etapa se filtran las ideas anteriormente generadas hasta quedarse con las que a criterio de la mayoría sean las mejores. Se debe pensar en la factibilidad operativa, financiera, y el potencial de mercado que tengan, por ejemplo.
3. **Diseño preliminar:** Se realiza un diseño tanto del producto como de su proceso productivo a fin de pensar desde el diseño una manera eficiente de materializarlo.
4. **Construcción del prototipo:** Se pueden construir prototipos o realizar simulaciones por computadora con el fin de conocer la forma final y el comportamiento del producto final.
5. **Pruebas:** Se construye el prototipo verificando que cumpla con las características especificadas desde el diseño preliminar (tanto el producto como el proceso productivo)
6. **Diseño definitivo del producto:** Una vez corregidas todas las anomalías, fallas, o modificaciones que hayan surgido de las pruebas se lanza definitivamente el nuevo producto.

Descripción general de la planta y de los procesos

Lay Out de la planta industrial

La planta se encuentra en un predio de 5300 metros cuadrados de los cuales ocupa un total de 1170 metros cuadrados. Principalmente se divide en cuatro sectores separados por paredes internas.

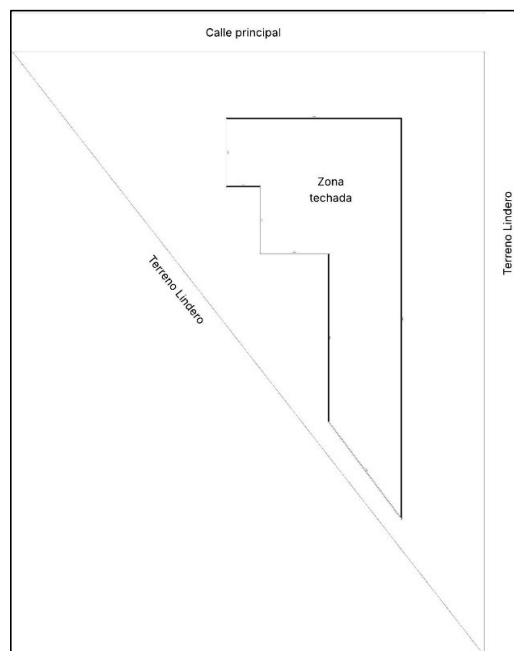


Ilustración 2: Vista superior de la planta industrial

El sector de interés, es el sector de manufactura de piezas agrícolas que cuenta dentro de la planta con un total de 260 metros cuadrados destinados a albergar no solo las máquinas y las herramientas del proceso, sino que también posee oficinas administrativas, oficinas de diseño, baños y cocina.

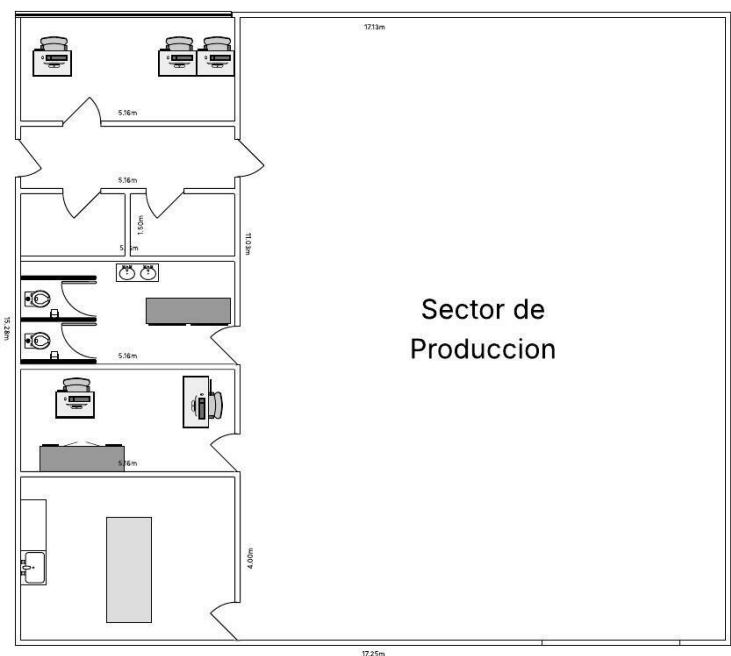


Ilustración 3: Vista superior del sector de manufactura

Proceso productivo

Para poder profundizar en las actividades desarrolladas durante la práctica profesional supervisada primero se definieron con exactitud qué tipo de servicio brinda la empresa, y cuáles son los métodos utilizados para aportar valor a sus clientes.

Como ya se explicó anteriormente, la planta provee elementos de máquinas agrícolas a una empresa local dedicada a la comercialización de maquinarias y sus repuestos; esto hizo que se adoptara un tipo de flujo de procesos basado en talleres de trabajo, donde la distribución de las máquinas y herramientas utilizadas se enfocan en el proceso productivo y no en el producto en sí; de esta manera se logra mantener una cierta flexibilidad en las características de los productos manufacturados a costa de un volumen de producción más bajo comparado con otros tipos de flujo de procesos.

En cuanto al cumplimiento de las ordenes, estas siguen el sistema de “producción a la orden” (MTO) priorizando la personalización del producto final con las especificaciones requeridas por el cliente en pos de mayores costos de producción y plazos de entrega comparado con otro tipo de sistemas.

Para cada orden de trabajo en particular, se realiza siempre un método de creación de producto – proceso dividido en las siguientes etapas:

- **Diseño preliminar:** En función de las especificaciones del cliente o de la muestra que los mismos entregan se determinan los procesos de manufactura adecuados y se realiza un diseño preliminar del producto con ayuda de un software de diseño asistido por computador.
- **Construcción y prueba del prototipo:** Una vez finalizado el diseño preliminar se procede con la manufactura del primer prototipo y se controla que el diseño y el proceso productivo sean los adecuados en función de las especificaciones del cliente o mediante la comparación con la muestra.
- **Diseño definitivo del producto:** en caso de que el producto o el proceso requiera algún cambio, se modifica el diseño hasta obtener un resultado satisfactorio.

Cada una de las etapas se controlan con una planilla de seguimiento, en donde quedan registradas todas las operaciones que se le realizan al producto final, el volumen de pedidos y el volumen producido, además se controla la prioridad del pedido, el plazo de entrega restante, y el día que la orden entró a producción a fin de poder recopilar y ordenar la información para controlar, mantener y mejorar la calidad del servicio brindado.

En cuanto a la capacidad productiva de la empresa, es algo muy variable y depende fuertemente del diseño del producto que se requiera fabricar, se puede decir que, en promedio, por semana se fabrican entre 300 y 500 unidades de productos.

Respecto de la capacidad física, la planta cuenta con un área de recepción de materia prima de aproximadamente 220 metros cuadrados; los productos terminados, sin embargo, se despachaban lo antes posible debido a que no existía un lugar propio de almacenamiento para los mismos.

En relación a la capacidad tecnológica, esta cuenta con máquinas y herramientas manuales y semiautomáticas capaces de manufacturar elementos metálicos y aleaciones como el acero; no es posible trabajar otros tipos de materiales.

Entre los procesos productivos propiamente dichos disponibles en la planta podemos mencionar el diseño de piezas, corte, plegado, y soldado.

Diseño

Para el diseño del modelo, planos, y cada una de las piezas de los productos se utilizó un software de diseño asistido por computador, o CAD, denominado SolidWorks. Este programa es uno de los más conocidos para hacer modelado 3D y para realizar archivos imprimibles, se utiliza por profesionales de todo el mundo en la industria aeroespacial, la automoción, la fabricación y el servicio de ingeniería.

El procedimiento consistió en las siguientes tres etapas; con la sección de creación de pieza, se realizaron todas las necesarias fijando dimensiones, geometrías y materiales para cada una; luego, en la sección de ensamblaje se

presentaron cada una en su lugar y se corrigieron los detalles necesarios para que el ensamble quede correcto; una vez conforme con el modelo, se procedió con la construcción del primer producto de prueba para asegurar que el diseño sea satisfactorio desde el punto de vista manufacturero. Si existían errores, estos eran corregidos y luego se realizaban los planos finales para entregar al operario.

Corte

El proceso de corte utilizado es mediante una máquina láser, más precisamente el modelo "Raytu Láser RT3015-WT 6000W". Este es un proceso de fabricación que usa un haz de luz muy concentrado y pequeño para cortar y grabar diseños, patrones y formas en distintos materiales, en este caso, aceros de varios tipos y espesores.

Se compone de una fuente que genera un rayo creado a partir de un gas (como el dióxido de carbono, CO₂) o de un medio sólido (como fibra óptica), esta energía se amplifica en una cavidad resonante mediante un proceso llamado "excitación"; el rayo láser se dirige a través de un sistema óptico que utiliza lentes y espejos para focalizar la energía en un punto muy pequeño, aumentando su densidad de energía, la focalización precisa del láser es crucial para lograr cortes finos y bien definidos. Cuando el rayo láser enfocado impacta el material, la alta temperatura generada provoca que este se funda o vaporice rápidamente; dependiendo del material y de la configuración de la cortadora, el láser puede cortar, grabar o marcar el material.

La cortadora además está equipada con un sistema controlado por computadora (CNC), que permite mover el cabezal láser y/o la cama de trabajo con máxima precisión según el diseño o patrón que se quiera lograr. Para poder cargar el patrón de corte, se utiliza un software especializado que la máquina sigue para realizar cortes específicos.

Entre las ventajas que presenta este proceso podemos mencionar:

- Alta Precisión y Detalle: Capaz de realizar cortes y grabados a una precisión de hasta 0.01 mm, ideal para diseños complejos.
- Versatilidad: Puede trabajar con varios materiales, incluidos madera, acrílico, plásticos, piel, y metales, haciéndola útil en diversas industrias.

- Menor Desperdicio de Material: Su capacidad para cortar con precisión permite el uso óptimo de materias primas.
- Mayor Eficiencia: Proceso automatizado que permite la producción a gran escala sin perder calidad.
- Flexibilidad en el Diseño: Capacidad de modificar diseños fácilmente y realizar cambios sobre la marcha, impulsando la creatividad.

Entre las desventajas, también, podemos mencionar:

- Costo Inicial Alto: La inversión en una cortadora láser de calidad se encuentra en un rango alto, lo que puede ser prohibitivo para pequeños negocios.
- Limitaciones en Grosor de Material: Cada tipo de láser tiene límites sobre el grosor y tipo de material que puede cortar. Por ejemplo, los láseres de CO2 pueden tener problemas con metal grueso.
- Riesgos de Seguridad: El uso del láser implica riesgos, como quemaduras, y es esencial utilizar equipo de seguridad adecuado y tener un entorno bien ventilado.
- Requerimientos de Energía: Estas máquinas pueden consumir una cantidad significativa de electricidad, aumentando los costos operativos.
- Costos de Mantenimiento: Pueden requerir mantenimiento regular para asegurar un funcionamiento óptimo y prolongar la vida útil del equipo.

En este caso, una vez que se tenían los productos diseñados se pasaban a un tipo de archivo con extensión “.dxf” que luego el software de la maquina (CypCut Láser, o bien Tube Pro) puede leer y decodificar.



Ilustración 4: Máquina de corte laser

Plegado

Para el proceso de plegado la empresa cuenta con una prensa hidráulica CNC, marca "Italpeg" modelo "W076Y-125/3200", esta es una máquina utilizada para dar forma a chapas de metal.

Utiliza un sistema hidráulico para aplicar una fuerza controlada en un área específica, permitiendo que el material se deforme plásticamente sin romperse, donde el fluido presurizado se aplica a los cilindros hidráulicos. Este principio se basa en la ley de Pascal, que establece que un cambio de presión en un fluido se transmite uniformemente en todas las direcciones.

La chapa de metal se coloca entre una pieza inferior (llamada "matriz") y una herramienta superior (llamada "punzón"). La alineación precisa del material es crucial para obtener un doblado uniforme. Cuando se activa la máquina, el fluido hidráulico impulsa los cilindros que mueven el punzón hacia abajo y a medida que el punzón se acerca a la matriz, el metal empieza a deformarse; la cantidad de presión aplicada y la velocidad del movimiento se pueden ajustar según el tipo de material y el ángulo de plegado requerido.

Entre las principales partes de una plegadora hidráulica podemos mencionar el cuerpo de la Máquina, que es la estructura principal que soporta todas las demás partes; suele ser robusta para soportar las fuerzas generadas durante el plegado. Los cilindros hidráulicos luego convierten la presión del fluido en fuerza mecánica y controlan el movimiento del punzón hacia abajo y hacia arriba. El punzón es la herramienta superior que aplica la presión sobre la chapa y puede tener diferentes formas según el tipo de plegado que se necesite. La matriz en cambio es la herramienta inferior sobre la que descansa el material diseñada para dar forma al metal según el ángulo deseado del plegado.

Luego, podemos mencionar al sistema de Control, que permite al operador ajustar parámetros como la presión, la velocidad y el ángulo de plegado; este puede ser manual o incluso automatizado; al sistema de Seguridad, tales como barreras, botones de emergencia y sensores que protege a los operadores y evitan accidentes; y al sistema Hidráulico, que incluye a la bomba hidráulica, depósitos de fluido, tuberías y válvulas que gestionan la circulación del fluido hidráulico.

Entre las ventajas de utilizar este tipo de herramientas podemos mencionar:

- **Alta Fuerza de Plegado:** Capaz de plegar materiales gruesos y de alta resistencia que otras máquinas pueden no manejar.
- **Precisión:** Ofrecen un control preciso sobre el ángulo y la profundidad del plegado, lo que resulta en piezas de alta calidad.
- **Versatilidad:** Se pueden usar para doblar diferentes tipos de materiales, incluidos acero, aluminio y otros metales.
- **Escalabilidad:** Adecuadas para producción en masa, permitiendo la configuración de series de producción de gran volumen.
- **Facilidad de Uso:** Muchos modelos actuales cuentan con controles digitales que simplifican el proceso de plegado.

Por otro lado, las desventajas que podemos mencionar son:

- **Costo Elevado:** La inversión inicial en una plegadora hidráulica de calidad puede ser considerable.
- **Mantenimiento:** Requiere un mantenimiento regular para asegurar un funcionamiento óptimo, especialmente en el sistema hidráulico.
- **Espacio:** Suelen ser más grandes y pesadas que otras máquinas, lo que puede ser un problema en instalaciones con espacio limitado.
- **Calentamiento:** El sistema hidráulico puede calentarse durante largas operaciones, lo que puede requerir tiempo para enfriarse.
- **Sensibilidad a Errores:** Si no se configura correctamente, pueden producir defectos en las piezas dobladas, como dobleces irregulares o deformaciones no deseadas.



Ilustración 5: Máquina plegadora

Soldado

El proceso de soldadura utilizado dentro de la planta es el denominado Gas Metal Arc Welding (GMAW); este es un proceso de soldadura en fase líquida donde se aporta calor por algún medio para formar una pileta líquida compuesta por ambos metales base, y metal de aporte (si lo hubiere) fundido entre sí; una vez solidificados, se produce la unión de los elementos.

El aporte térmico en este tipo de procesos es mediante un arco eléctrico, que no es más que una descarga continuada entre dos conductores separados ligeramente. Por medio de una diferencia de potencial entre un electrodo (consumible o no) y la pieza a soldar se produce una transferencia de electrones que ioniza al gas circundante (sea este el aire o cualquier otro gas utilizado como protección) formando así un arco eléctrico que se mantiene a través del gas ionizado llamado plasma. Este, cuando entra en contacto con la pieza a soldar y el electrodo se enfría, aportándoles la energía necesaria para fundir a ambos metales.

En cuanto al tipo de aporte, este proceso utiliza un electrodo continuo sin recubrimiento y un gas (inerte o activo) como protección. El arco eléctrico se da entre el electrodo y la pieza, fundiendo ambas partes y depositando al mismo sobre la pileta líquida. Una de las partes principales de este proceso es la torcha, que tiene una parte central por donde circula el alambre conectado a la corriente y otra parte periférica por donde se insufla el gas protector. En la punta, se encuentra la tobera que dirige al gas hacia la punta del electrodo. Los electrodos pueden ser sólidos o huecos, estos últimos traen dentro suyo el mismo material en forma de polvo.

Hablar de sus ventajas y desventajas es un tanto subjetivo y en especial en relación al tipo de proceso de soldadura con el cual se compare, sin embargo podemos decir que entre sus virtudes se encuentra la capacidad de soldar la mayoría de los metales comerciales, permite formar un cordón de soldadura continuo y tiene una velocidad de avance relativamente veloz; en cuanto a sus limitaciones podemos decir que el equipo es relativamente costoso, se dificulta realizar el proceso en lugares estrechos debido a la geometría de la torcha, y

además no es un proceso que se adecue bien a ambientes con grandes corrientes de aire.



Ilustración 6: Máquina soldadora para procesos GMAW

Torneado

El proceso de torneado es un proceso de remoción de material con arranque de viruta en el cual se utiliza una herramienta de filos geoméricamente determinados para darle forma a una pieza cuya geometría final debe ser cilíndrica y tener su eje central de simetría.

Es un proceso que se realiza en un torno y entre sus partes podemos mencionar:

- **Bancada:** Es la base del torno. Soporta y alinea todas las partes del torno. Tiene guías por donde se desplazan el carro y el contrapunto.
- **Cabezal fijo (o cabeza motriz):** Contiene el motor y los engranajes que transmiten el movimiento de rotación al husillo principal. En el husillo se monta el mandril que sujeta la pieza.
- **Husillo principal:** Eje que gira impulsado por el cabezal. En él se monta el mandril o plato de garras, que sujeta la pieza a mecanizar.

- **Mandril (o plato de garras):** Dispositivo que sujeta firmemente la pieza de trabajo. Puede ser de 3 garras (autocentrante) o 4 garras (ajuste independiente).
- **Contrapunto:** Se desliza sobre la bancada y se puede fijar en una posición. Sirve para soportar el extremo libre de la pieza mediante una punta giratoria o para sostener herramientas como brocas.
- **Carro principal:** Se desplaza a lo largo de la bancada. Soporta y mueve la herramienta de corte en dirección longitudinal y transversal. Se divide en:
 - **Carro transversal:** Se mueve en dirección perpendicular al eje del torno (eje X). Permite cortes en profundidad.
 - **Carro superior o portaherramientas:** Se mueve manualmente en distintos ángulos para cortes oblicuos o roscados. En él se monta la herramienta.
- **Torreta portaherramientas:** Es donde se fija la herramienta de corte. Puede ser fija o giratoria para cambiar de herramienta rápidamente.
- **Husillo de avance (tornillo de fuerza):** Permite el avance automático del carro durante operaciones como el roscado. Se sincroniza con el giro del husillo principal.
- **Volantes de mano:** Se utilizan para mover manualmente el carro, el contrapunto o el portaherramientas con precisión.
- **Caja de avances:** Permite seleccionar diferentes velocidades de avance del carro, tanto para desbaste como para roscado.
- **Motor eléctrico:** Proporciona la energía para hacer girar el husillo y mover los sistemas de avance automáticos.

Las ventajas de usar este tipo de procesos son:

- Alta precisión dimensional (especialmente en tornos CNC).
- Versatilidad de formas: se pueden mecanizar cilindros, conos, esferas, roscas, etc.
- Acabados superficiales finos con herramientas adecuadas.
- Capacidad de producción en serie (automatización con tornos CNC).
- Apto para muchos materiales: metales, plásticos, maderas, etc.

Entre las desventajas, tenemos que:

- Limitado a piezas cilíndricas.
- Desperdicio de material por arranque de viruta.
- Coste elevado en comparación con procesos como el moldeo o la forja si se trata de producción en masa sin CNC.
- Riesgo de errores humanos en tornos manuales.
- Tiempo de mecanizado relativamente alto para formas complejas.



Ilustración 7: Torno

Actividades de gestión desarrolladas

Situación inicial

En la etapa inicial de la práctica, una de las primeras tareas abordadas fue el relevamiento y análisis del sistema existente de gestión y control de órdenes de producción. Dicho sistema se basaba en un archivo compuesto por múltiples hojas de cálculo en Excel, donde se registraba información operativa como: denominación de la pieza, cantidad solicitada, tipo de material requerido, cantidad efectivamente producida, remanente pendiente, fecha de emisión del pedido, estado de avance de algunos procesos productivos, condición final de la orden y fecha de entrega.

PERIDOS	Estado	0 of 2											
Archivo	CODIGO	CO	Chapa	Cantidad P	Realizada	Restantes	Fecha pedido	Prioridad	Curtadas	Plazadas	Estado	Fecha entreg	Observación
0 Archivo	Año lateral tubo de descarga	ALTD-001.0	3/8" x 0.5"	28	28	0	10/3/25	2-media	Completado	No tiene	Completado	11/3/25	
0 Archivo	Mueles Rotor		3/8" x 0.5"	378	378	0	10/3/25	2-media	Completado	No tiene	Completado	11/3/25	
0 Archivo	Deep largo	PRK-001	0.125" x 4"	200	200	0	11/3/25	4-baja	Completado	No tiene	Completado		
0 Archivo	Johnson Drive bandeja de acareador	JDR455-001.0	0.125" x 4"	100	100	0	12/3/25	2-media	Completado	Completado	Completado	17/3/25	
0 Archivo	capacitor dechm x 1000 15g			50	50	0	12/3/25	2-media	Completado	No tiene	Completado	14/3/25	
0 Archivo	tubo eldo x 400mm 15g			50	50	0	12/3/25	2-media	Completado	No tiene	Completado	14/3/25	
0 Archivo	Johnson Drive	9470/9670	T 05: 35	50	50	0	13/3/24	2-media	Completado	No tiene	Completado	31/3/24	
0 Archivo	case		4 x 1.5"	10	10	0	5/3/25	4-baja	Completado	Completado	Completado	10/3/25	
0 Archivo	VAS - barrote acareador - 1900 - p000	X	0.125" x 4"	100	100	0	18/3/2025	2-media	Completado	Completado	Completado		
0 Archivo	VAS - barrote acareador - 1900 - p000	X	0.125" x 4"	100	0	100	18/3/25	2-media	Completado	Completado	Completado	27/3/25	
0 Archivo	Dan Roque barrote de acareador 150	DR-001.0	0.125" x 4"	100	100	0	18/3/25	2-media	Completado	Completado	Completado	31/3/25	
0 Archivo	Dan Roque barrote de acareador 170	DR-002.0	0.125" x 4"	100	100	0	18/3/25	2-media	Completado	Completado	Completado		
0 Archivo	Barra de molinillo Claudio Mañana		T 05: 35	6	6	0	28/3/25	2-media	Completado	No tiene	Completado	28/3/25	
0 Archivo	Chapa de mesa de taller		1/4" x 3.2"	4	4	0	28/3/25	4-baja	Completado	Completado	Completado	1/4/24	
0 Archivo	Brda softin		0.125" x 4"	8	8	0	28/3/25	2-media	Completado	No tiene	Completado	1/4/25	
0 Archivo	tapa ciega sin fin		0.125" x 4"	2	2	0	28/3/25	2-media	Completado	No tiene	Completado	1/4/25	
0 Archivo	CLASB 330 D		0.125" x 4"	50	44	6	1/4/25	2-media	En proceso	En proceso	Completado		
0 Archivo	CLASB 330 I		0.125" x 4"	50	50	0	1/4/25	2-media	Completado	Completado	Completado	3/4/25	
0 Archivo	Barra acareador 2380 I (5 agujeros)		1/4" x 0.3"	50	2	48	1/4/25	2-media	En proceso	En proceso	Completado	4/4/25	
0 Archivo	Barra acareador 2380 D (4 agujeros)		1/4" x 0.3"	50	0	50	1/4/25	2-media	Completado	En proceso	Completado	4/4/25	
0 Archivo	Barra de molinillo JD 25x 590mm	JD-8M-25x-5900	T 05: 35	6	6	0	7/4/25	4-baja	Completado	No tiene	Completado	8/4/25	

Ilustración 8: Plantilla del tablero de pedidos utilizado para piezas en general

Evaluando este sistema se identificó una problemática crítica: la ausencia de un esquema de codificación única y estandarizada para cada pieza. Este error dificultaba la trazabilidad y el control de productos y sus versiones, generando frecuentes confusiones entre piezas similares pertenecientes a distintos conjuntos o ensambles, así como entre variantes actualizadas de un mismo componente. Esta falta de identificación complicaba el seguimiento del flujo de materiales y aumentaba el riesgo de errores en la producción.

Adicionalmente, se observó que muchos conjuntos y subconjuntos disponían de hojas de cálculo independientes para la gestión de sus pedidos. Esta fragmentación de la información provocaba que los datos estuvieran dispersos en múltiples archivos, lo cual dificultaba su administración, el seguimiento integral de las órdenes y la posibilidad de realizar análisis globales para apoyar la toma de decisiones.

Como consecuencia, el sistema presentaba limitaciones para establecer prioridades, detectar cuellos de botella y evaluar el rendimiento general de la planta.

Piso palo													
Ambito	Piezas	Codigo	Clapa	Cantidad P	Realizadas	Restantes	Fecha pedi	Prioridad	Cortadas	Plegadas	Estado	Fecha entm	Observaci
P1	P1			15	15	0	7/10	2 med	Compl	Compl	Compl	7/10	
P2	P2			8	2	6	7/10	2 med	Compl	En proc	Compl	8/10	
P3	P4.2			8	0	8	7/10	2 med	Recup	No tiene	Recup		CUANDO TENI
P4	P5			8	4	4	7/10	2 med	Compl	En proc	Compl	8/10	
P5	P6			4	4	0	7/10	2 med	Compl	No tiene	Compl	8/10	
P6	P7.1			4	4	0	7/10	2 med	Compl	No tiene	Compl	8/10	
P7	P7.3			4	4	0	7/10	2 med	Compl	No tiene	Compl	8/10	
P8	P4.4			4	0	4	7/10	2 med	Recup	Recup	Recup		
P9	P0			4	0	4	7/10	2 med	Recup	No tiene	Recup		Caño 5 x 5
P10	P1.1			8	0	8	7/10	2 med	Recup	No tiene	Recup		Caño 5 x 6
P11	P2			8	0	8	7/10	2 med	Recup	Compl	Recup		
P12	P2.2			4	0	4	7/10	2 med	Recup	No tiene	Recup		Caño 5 x 4

Ilustración 9: Plantilla de tablero de pedido utilizado para un producto en particular

Mejoras impulsadas

Con el fin de resolver las problemáticas previamente identificadas, una de las primeras acciones propuestas fue el diseño e implementación de un sistema de codificación significativa para todos los conjuntos y piezas fabricados en la planta. El objetivo principal de esta codificación es unificar, en una estructura alfanumérica, clara y estandarizada, la información esencial que permite identificar cada componente y asociarlo de manera inequívoca con el producto al que pertenece.

Para definir la estructura óptima de la cadena de codificación, el practicante mantuvo reuniones con el operario responsable de la planta y con sus superiores; durante estas instancias se relevó qué datos eran considerados imprescindibles, cuáles resultaban útiles pero prescindibles, y cuáles no debían incluirse para evitar códigos excesivamente extensos o confusos. Este intercambio permitió establecer criterios reales y alineados con la operatividad del proceso productivo.

A partir de las recomendaciones obtenidas, se desarrolló un código que integra, en una única secuencia ordenada, la siguiente información: modelo del producto, nombre del conjunto, subconjunto correspondiente y pieza específica. De esta manera, la codificación no solo permite identificar cada elemento de

forma unívoca, sino que también facilita la trazabilidad jerárquica dentro del sistema productivo.

A continuación, se presenta mediante un diagrama de bloques un ejemplo comparativo entre un producto compuesto por una única pieza y otro conformado por un ensamble con múltiples subconjuntos, ilustrando la estructura de codificación propuesta.

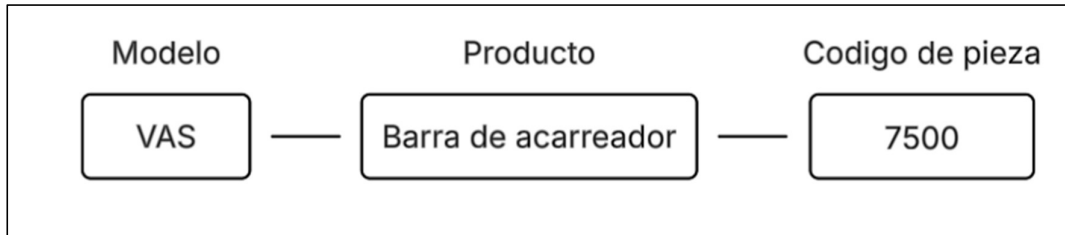


Ilustración 10: Ejemplo de código adoptado para una pieza en particular

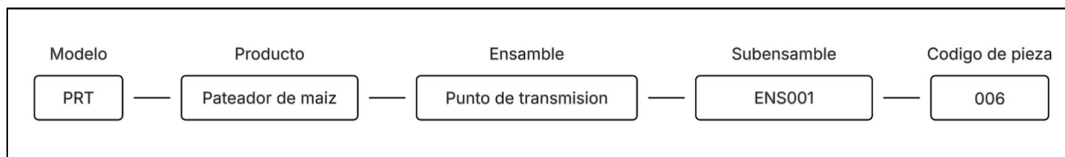


Ilustración 11: Ejemplo de código adoptado para una pieza correspondiente a un producto en particular

En la imagen numero 9 podemos apreciar de manera clara que se trata de un producto denominado “barra de acarreador” y específicamente es el compatible con máquinas marca Vassalli modelo 7500. En cuanto a la imagen número 10, al leer el código podemos inferir que estamos hablando de la pieza “006” perteneciente al sub ensamble “ENS001” que a su vez es parte del conjunto “punto de transmisión” del producto denominado “pateador de maíz” y todo esto sin siquiera tener un plano o croquis en el cual fijarnos.

Este sistema ahorró muchísimo tiempo a la hora de identificar piezas y poder, por ejemplo, constatar la cantidad necesaria, cantidad a producir o cantidad en inventario disponible en tiempo real.

Otra de las recomendaciones, fue la de modificar el tablero de pedidos utilizado para dejar constancia de aquellas piezas fabricadas en el día.

La primera modificación consistió en utilizar el propio libro de Google Sheet (en el cual se llevaban a cabo todas las anotaciones de producción de manera desorganizada) como una unidad para el control de la producción; dentro de dicha unidad, cada una de las hojas de cálculo reflejarían un solo tipo de información, entre ellas se encuentran:

Tablero de pedidos

Es un tablero destinado a centralizar y visualizar la información correspondiente a los pedidos procesados diariamente dentro del sistema productivo. Este tablero consolida datos clave tales como: fecha de ingreso del pedido, fecha de inicio de fabricación, fecha de finalización, y la secuencia de procesos que deben ejecutarse para completar la orden. Adicionalmente, incorpora un sistema de codificación por colores que permite identificar de manera rápida el estado de cada operación, clasificándola como “no aplica”, “en proceso”, “completo” o “incompleto”.

El tablero también proporciona una visión cuantitativa del flujo de trabajo, indicando el total de pedidos registrados, la cantidad ya finalizada y el número de órdenes pendientes de ejecución. Esta información resulta esencial para evaluar la carga operativa de la planta y planificar prioridades.

El propósito principal del tablero es recopilar y analizar métricas relacionadas con los tiempos del sistema productivo, tales como: el intervalo entre la recepción de una orden y el inicio de su fabricación, la duración total del ciclo productivo hasta su finalización y la capacidad de respuesta global de la planta. Al mismo tiempo, funciona como herramienta de registro histórico, permitiendo identificar qué piezas, subconjuntos o conjuntos presentan mayor demanda por parte de los clientes a lo largo de distintos períodos.

Asimismo, el tablero facilita el estudio del comportamiento de la demanda, permitiendo detectar patrones relevantes, como variaciones estacionales, tendencias de incremento o decrecimiento, o picos asociados a determinados ciclos agrícolas.

Pieza	Cantidad	Realizada	Reservada	Ingreso de orden	Fecha de entrega	Estado	Completado	Terminado	Observación
BAR - barra de molinillo - 23p/1500 - p001	8	8	0		7/6/2023	Completado	No tiene	No tiene	8/4/2023
BAR - barra de molinillo - 28p/1490	8	8	0		7/6/2023	Completado	No tiene	No tiene	8/4/2023
BAR - barra de molinillo - CONJUNTO ARMADO	8	8	0		7/6/2023	Completado	No tiene	No tiene	8/4/2023
CAS - barra molinillo - 35p equipado	3	3	0		8/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	15/4/2023
CAS - barra molinillo - 35p	3	3	0		8/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	15/4/2023
ALU - volante capachon - 66C.5/15/500 - 88.6	80	80	0		10/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	15/4/2023
ALU - base - 68B.6/11/3/75	80	80	0		10/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	15/4/2023
ALU - onpa capachon - 001	80	80	0		10/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	15/4/2023
MA3 - barra acarreador - 7500/1550	100	100	0		11/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	14/4/2023
LPV - chapeador - 270 mm	40	40	0		10/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	15/4/2023
LPV - chapeador - 155 mm	40	40	0		10/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	15/4/2023
ALU - volante capachon - 67C.1/15/490 - 76	200	200	0		22/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	22/4/2023
ALU - capachon para luminaria - 76/15p	15	15	0		22/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	22/4/2023
ALU - capachon para luminaria - Tapa capachon 67B	100	100	0		23/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	23/4/2023
PRE - van lateral - AL20/250mm	5	5	0		23/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	23/4/2023
CAS - barra molinillo - 35p equipado	8	8	0		23/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	23/4/2023
CAS - barra molinillo - 35p	8	8	0		23/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	23/4/2023
CAS - barra molinillo - 35p FLA	20	20	0		23/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	23/4/2023
CAS - barra molinillo - 35p - CONJUNTO ARMADO	8	8	0		23/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	23/4/2023
PRE - Junta Bancada bolillo - 5/18.623.5	6	6	0		28/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	28/4/2023
MA3 - barra acarreador - 66C030/34	27	27	0		28/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	28/4/2023
MA3 - barra acarreador - 66C030/34 - esp	44	44	0		28/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	28/4/2023
ALU - arandela luminaria - tipo 67B.2	30	30	0		28/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	28/4/2023
ALU - arandela luminaria - variedad 021	30	30	0		28/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	28/4/2023
MA3 - barra acarreador - 1300	80	80	0		28/4/2023	Completado	No tiene	No tiene	28/4/2023
ALU - capachon para luminaria - 47B.1/15/230 - 76	3	3	0		15/5/2023	Completado	No tiene	No tiene	15/5/2023
ALU - volante capachon - 68B.6/11/3/230	1	1	0		15/5/2023	Completado	No tiene	No tiene	15/5/2023
ALU - tubo - 68B04H1000mm 1.8 g base 76	3	3	0		15/5/2023	Completado	No tiene	No tiene	15/5/2023
PRE - Bandera - 001	20	20	0		16/5/2023	Completado	No tiene	No tiene	16/5/2023

Ilustración 12: Tablero de pedidos adoptado posteriormente

Lista de piezas manufacturadas

Se propuso generar una sección donde se listen todas y cada una de las piezas que se manufacturan en el lugar, a fin de que de manera automática para cada una de las piezas ingresadas se genere un código de identificación.

Dicha lista es una tabla que pide información tal como el modelo o cliente que pidió el producto, el conjunto, subconjunto, o pieza, su nombre y un código asignado para luego crear la cadena de caracteres que identificarán en adelante a la pieza cargada.

PIEZA	CLIENTE	CODIGO PIEZA	CODIGO
barra acarreador	vassalli	7500/1550	VAS - barra acarreador - 7500/1550
barrote acarreador	vassalli	1300	VAS - barrote acarreador - 1300
barrote acarreador	vassalli	7500	VAS - barrote acarreador - 7500
barra acarreador	new holland	9080	NEH - barra acarreador - 9080
barra acarreador	new holland	9060	NEH - barra acarreador - 9060
barra acarreador	don roque	170/8mm	DRQ - barra acarreador - 170/8mm
barra acarreador	don roque	150/8mm	DRQ - barra acarreador - 150/8mm
barra acarreador	don roque	150/10mm	DRQ - barra acarreador - 150/10mm
barra acarreador	don roque	170/10mm	DRQ - barra acarreador - 170/10mm
barrote acarreador	don roque	150/4.75 mm	DRQ - barrote acarreador - 150/4.75 mm
barrote acarreador	don roque	170/4.75 mm	DRQ - barrote acarreador - 170/4.75 mm
barra molinillo	don roque	23p	DRQ - barra molinillo - 23p
barra molinillo	don roque	28p	DRQ - barra molinillo - 28p
barra molinillo	don roque	30p	DRQ - barra molinillo - 30p
barrote acarreador	jhon deere	9650	JDE - barrote acarreador - 9650
pieza	jhon deere	9470/9570	JDE - pieza - 9470/9570
barra acarreador	class	330/I	CLA - barra acarreador - 330/I
barra acarreador	class	330/D	CLA - barra acarreador - 330/D
barra acarreador	case	2388/I	CAS - barra acarreador - 2388/I
barra acarreador	case	2388/D	CAS - barra acarreador - 2388/D

Ilustración 13: Listado de piezas adoptado

REFERENCIAS		
DESCRIPCION	NOMBRE	CODIGO
CLIENTE	vassalli	VAS
CLIENTE	case	CAS
CLIENTE	class	CLA
CLIENTE	jhon deere	JDE
CLIENTE	don roque	DRQ
CLIENTE	new holland	NEH
CLIENTE	lp vidrios	LPV
CLIENTE	karting chacabuco	KTC
CLIENTE	pbk karting	PBK
CLIENTE	particular	PRT
CLIENTE	alumbrado	ALU
CLIENTE	massey	MAS

Ilustración 14: Tabla de referencias con la que se generan automáticamente los códigos

Insumos en inventario

Al igual que es fundamental identificar de manera unívoca cada pieza producida, también resulta indispensable establecer un sistema de identificación para todos los insumos requeridos durante el proceso de fabricación. El practicante observó que, si bien el esquema actual de seguimiento de órdenes contempla la compra de materia prima únicamente cuando se recibe una orden formal, esta metodología no se aplicaba del mismo modo a los consumibles tales como electrodos, gases protectores, lubricantes, discos abrasivos y otros elementos utilizados en las diferentes máquinas de la planta.

Con el fin de mejorar la gestión de estos recursos, se elaboró una tabla específica que detalla cada insumo empleado, asignándole un código propio, su cantidad disponible y la máquina o proceso al que está asociado. Este registro constituye la base para un control de inventario más preciso.

El objetivo principal de esta herramienta es permitir un monitoreo en tiempo real del stock de consumibles, de manera de anticipar la necesidad de reposición y evitar interrupciones en la producción. Este aspecto resulta especialmente crítico en el caso de insumos cuya disponibilidad en el mercado nacional es limitada y requieren plazos prolongados de importación o abastecimiento.

La tabla de insumos incorpora además un nivel de criticidad asignado a cada ítem, clasificado en tres categorías: “alto”, “moderado” y “bajo”. Este nivel se determina cualitativamente considerando la frecuencia de uso del insumo, su facilidad de obtención en el mercado y el tiempo estimado de reabastecimiento. Esta clasificación permite priorizar compras, definir niveles mínimos de stock y gestionar de manera más eficiente los recursos necesarios para garantizar la continuidad operativa de la planta.

Maquina/Herramienta	Item	Codigo ID	Cantidad	Unidades	Criticidad
Cortadora laser	Lente protector inf.	D37*T7	19	Unidad	Alto
Cortadora laser	Lente protector sup.	D32*2 (T1064)	8	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Anil. ceramica inferior	WTC - 08 (31mm)	4	Unidad	Alto
Cortadora laser	O'ring ceramica inferior	D28M11/D32 M14	0	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Conjunto de colimacion	D37-F100 1064nm	2	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Pico doble	D1.0	8	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Pico doble	D1.2	15	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Pico doble	D1.4	2	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Pico simple	D1.5	8	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Pico doble	D1.6	3	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Pico doble	D1.7	5	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Pico doble	D1.8	3	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Pico doble	D3.0	10	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Pico doble	D3.5	10	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Pico doble	D4.0	15	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Pico doble	D5.0	10	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Hisopos de limpieza	n/a	28	Unidad	Bajo
Cortadora laser	Alcohol isopropilico	440 cm3	1	Unidad	Bajo
Cortadora laser	Tornillo allen	15 mm M6x1	24	Unidad	Bajo
Cortadora laser	Tornillo allen	15 mm M5x0.8	22	Unidad	Bajo
Cortadora laser	Tornillo allen	15 mm M6x1	14	Unidad	Bajo
Cortadora laser	Tornillo allen	12 mm M5x0.8	19	Unidad	Bajo
Cortadora laser	Rack Oxigeno	n/a	1	Unidad	Moderado
Cortadora laser	Aceite Lubricante	Hidraulico mineral Azola ZS	20	Litros	Bajo
Chiller	Refrigerante	R407 - C	0	Litros	Bajo
Chiller	Filtro de agua	Tipo Y 1/2"	0	Unidad	Bajo
Chiller	Filtro de agua	Tipo Y 1"	0	Unidad	Bajo
Uso general	Agua destilada	n/a	0	Litros	Bajo
Soldadora GMAW	Rollo 15 kg alambre	1.2 mm	0	Unidad	Moderado
Soldadora GMAW	Tubo de gas	Atal	2	Unidad	Moderado
Soldadora GMAW	Pico	1.2 mm	0	Unidad	Moderado

Ilustración 15: Tabla de control de insumos

Materia prima necesaria por producto

Uno de los problemas más graves encontrados dentro del sistema de gestión fue que ninguna pieza ni conjunto tenía determinado el tipo y las cantidades de materia prima necesarias para su manufactura, y estos eran calculados siempre que ingresaba una orden de producción.

Por lo tanto, y como la mayoría de las ordenes de producción se repetían en el tiempo se creó un registro que indica por conjunto o pieza, el tipo y cantidad de materia prima necesaria en la unidad de medida que corresponda.

Este registro agilizó los tiempos de entrega del producto final al cliente debido a que incrementó la velocidad del proceso de compra de material prima y por ende aceleró los tiempos del proceso de producción.

Se decidió, por cuestiones de comodidad y prolijidad a la hora de registrar y almacenar la información, que las piezas denominadas “barras de acarreador” de diferentes modelos sean almacenadas todas juntas en una misma tabla de control con el fin de evitar la creación de gran cantidad de archivos destinados a productos de baja complejidad que solo requieren un tipo de materia prima (en este caso, chapas de acero de un solo espesor).

Pieza/Conjunto	Material	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Area x pieza (m2)	#	Peso (Kg)
DRQ - barra acarreador - 125	3/16" - 4.8 mm		73.78	680	4.75	0.0502	1.87
DRQ - barra acarreador - 150	3/16" - 4.8 mm		68.68	592	4.75	0.0407	1.52
DRQ - barra acarreador - 170	3/16" - 4.8 mm		68.93	625	4.75	0.0431	1.61
VASS - barra acarreador - 1550	3/16" - 4.8 mm		73.05	574	4.75	0.0419	1.56
VASS - barra acarreador - 7500	3/16" - 4.8 mm		71	591	4.75	0.0420	1.56
VASS - barra acarreador - 1300	3/16" - 4.8 mm		69.5	655	4.75	0.0455	1.70
CAS - barra acarreador - 2388 D	1/4" - 6.35 mm		75.8	592	6.35	0.0449	2.24
CAS - barra acarreador - 2388 I	1/4" - 6.35 mm		75.8	594	6.35	0.0450	2.24
CAS - barra acarreador - 7088	1/4" - 6.35 mm		74.3	575	6.35	0.0427	2.13
CLA - barra acarreador - 330	3/16" - 4.8 mm		75.33	606	4.75	0.0456	1.70
JDE - barra acarreador - 670	1/4" - 6.35 mm		80	444	6.35	0.0355	1.77
JDE - barra acarreador - 9650	3/16" - 4.8 mm		76.5	675	4.75	0.0516	1.93
MAS - barra acarreador - ARCO 550/34	3/16" - 4.8 mm		98.4	640	4.75	0.0630	2.35

Ilustración 16: Registro de materia prima necesaria para distintas barras de acarreador

Para el resto de los productos, que en general si poseen más de un tipo de materia prima para su conformado (chapas de diferentes espesores, barras de acero laminadas en caliente, bulones varios, etc.) se creó una tabla de control individual almacenada en la carpeta correspondiente al producto junto con su

respectiva lista de partes, otra modificación aplicada que se detallará más adelante en el presente informe.

MATERIALES	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDADES
BULON ACERADO HEXAGONAL	CAL. 8.8 M10 X 30 Paso 1,5	8	unidades
BULON ACERADO HEXAGONAL c/TUERCA Y ARANDELA	CAL. 8.8 M12 X 120 Paso 1,75	44	unidades
BULON ACERADO HEXAGONAL c/TUERCA Y ARANDELA	CAL. 8.8 M16 X 40 Paso 2	8	unidades
BULON ACERADO HEXAGONAL c/TUERCA Y ARANDELA	CAL. 8.8 M8 X 120 Paso 1,25	2	unidades
BULON ACERADO HEXAGONAL c/ 2 TUERCAS Y ARANDELAS	CAL. 8.8 M8 X 60 Paso 1,25	1	unidades
CAÑO ESTRUCTURAL	80 X 40 X 5	4,32	metros
CHAPA DE ACERO	espesor 1/2" - 0,684 x 0,403 m	0,28	metros cuadrados
CHAPA DE ACERO	espesor 1/4" - 0,747 x 0,638 m	0,48	metros cuadrados
CHAPA DE ACERO	espesor 1/8" - 1,5 x 3 m + 0,4 x 1,04m	4,92	metros cuadrados
CHAPA DE ACERO	espesor 3/16" - 0,868 x 1,001 m	0,87	metros cuadrados
CHAPA DE ACERO	espesor 3/8" - 1,24 x 0,588 m	0,73	metros cuadrados
CHAPA DE ACERO	espesor - 5/16" - 0,13 x 0,29 m	0,038	metros cuadrados
CHAVETA PARTIDA	Tipo pasador 5 x 40	4	unidades
CHAVETA RAPIDA	Tipo R Galv. 3 x 85	2	unidades
CILINDRO HIDRAULICO	De doble efecto 50,6 x 25 x 254	2	unidades
HIERRO NEGRO	Diametro 12	2	unidades
PATIN ANTIDESGASTE	Patin antidesgaste de PETG/NYLON	12	unidades
RESORTE	30 x 45 espiras de 3mm	2	unidades
RODAMIENTO	Rigidos de una hilera 6203	8	unidades
SEGURO SEEGER	Exterior para eje de 35	4	unidades
SEGURO SEEGER	Interior para orificio de 40	8	unidades
TREFILADO MACIZO	Diametro 16	0,3	metros
TREFILADO MACIZO	Diametro 25	0,1	metros
TREFILADO MACIZO	Diametro 35	0,38	metros
TREFILADO MACIZO	Diametro 60	0,48	metros

Ilustración 17: Registro de materia prima necesaria para un producto en particular

Tiempo de los procesos

Medir el tiempo de los procesos es un tipo de mejora implementada luego de una conversación con los trabajadores administrativos de la planta en donde se puso de manifiesto que tenían problemas a la hora de calcular los plazos de entrega de algunos de sus productos.

Con el objetivo de resolver dicho inconveniente, se anexó dentro del control de producción una sección dedicada al cálculo de tiempo de procesos. La primer tarea que se realizó fue la de enumerar cada uno de los pasos a seguir dentro del proceso productivo. Estos, se ordenaron en:

- Calibración de la máquina de corte laser
- Corte por laser
- Plegado
- Soldado
- Torneado

El siguiente paso fue crear una matriz donde cada uno de estos pasos son las columnas de la misma, y en sus filas se enumeran las diferentes piezas a manufacturar. Luego la matriz se completa columna a columna indicando el tiempo de procesado en minutos para cada una de las piezas.

Este registro se fue completando a lo largo de la actividad profesionalizante con aquellos productos manufacturados con mayor frecuencia.

Finalmente, al costado de dicha matriz, se indicaba la cantidad de productos manufacturados durante cada uno de los procesos y se calculaba el tiempo real estimado por pieza.

Con estas mediciones fue posible eliminar la incertidumbre antes mencionada y además quedó información valiosa registrada para posibles análisis futuros de cuellos de botella y de optimización del proceso productivo.

Conjunto	Pieza	Cantidad	Calibración (min)	Corte (min)	Plegado (min)	Soldado (min)	Torneado (min)	Pintura (min)	Total (min)	Por unidad (min)
capuchon para luminaria 88 9	ALLI - oreja capuchon - 001	80	33	7	0	0	0	0	45	0.6
VAS - barra acameador - 7500/1550	VAS - barra acameador - 7500/1550	100	42	166	63	0	0	0	271	2.7
CAS - barra molinillo - CONJUNTO ARMADO	CAS - barra molinillo - 35p	8	40	210	0	0	0	0	250	31.3
CAS - barra molinillo - CONJUNTO ARMADO	CAS - barra molinillo - 35p espejado	8	40	210	0	0	0	0	250	31.3
CAS - barra molinillo - CONJUNTO ARMADO	CAS - barra molinillo - 35p PLA	29	25	13	10	0	0	0	48	1.7
CAS - barra molinillo - CONJUNTO ARMADO	CAS - barra molinillo - CONJUNTO ARMADO	16	0	0	0	64	0	120	184	11.5
MAS - barra acameador - ARCO550/34	MAS - barra acameador - ARCO550/34	60	24	145	90	0	0	0	259	4.3
DRQ - barra acameador - 125	DRQ - barra acameador - 125	90	43	124	71	0	0	0	238	2.6

Ilustración 18: Matriz de registro de tiempos de procesos por producto

Oportunidades de mejora futura

Además de las acciones previamente descritas, se elaboró una serie de recomendaciones basadas en las observaciones realizadas durante la práctica, las cuales resultan relevantes para el fortalecimiento del sistema productivo.

Una de las principales oportunidades de mejora identificadas fue la implementación de un sistema formal de órdenes de trabajo. Este documento, entregado al operario responsable de la tarea, debería incluir información como: el conjunto o producto a fabricar, la cantidad requerida, las piezas o materias primas necesarias, la hora de emisión y la fecha de finalización, así como observaciones técnicas o instrucciones específicas del método de fabricación. La incorporación de este sistema no solo optimiza la comunicación con el personal operativo, sino que también permite generar registros valiosos para el

análisis del desempeño, la asignación de recursos y la gestión del tiempo de trabajo.

Otra recomendación relevante, surgida a partir de la experiencia en planta, fue la creación e implementación de un plan de mantenimiento para los equipos, idealmente bajo un enfoque de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés). La adopción de este tipo de estrategia contribuye a prolongar la vida útil de los activos industriales, mejorar la eficiencia del proceso productivo y promover un entorno laboral más seguro. Entre sus beneficios directos se incluyen la reducción de fallas imprevistas, la disminución de tiempos muertos y la prevención de incidentes o accidentes asociados al deterioro de herramientas y maquinaria.

Resultados obtenidos

Una vez finalizada la práctica, el alumno mantuvo comunicación continua con el personal de la empresa, quienes demostraron disposición para colaborar y facilitar la información recopilada durante los meses posteriores mediante el sistema de gestión implementado. Este intercambio permitió complementar el presente informe y respaldar con datos reales los resultados obtenidos.

Es importante destacar que, gracias a la puesta en funcionamiento del sistema, fue posible identificar diversas características clave del proceso productivo. A continuación, se detallan los principales hallazgos derivados del análisis de la información registrada.

Tiempo de respuesta a ingreso de ordenes

Se definió este indicador como la cantidad de días transcurridos entre el ingreso de la orden de producción al sistema y el inicio efectivo de su fabricación. En el caso analizado, las órdenes presentan un tiempo de respuesta que varía entre cero y seis días, siendo lo más habitual que comiencen a ejecutarse el mismo día en que son registradas.

Si bien el volumen de datos aún es limitado para establecer conclusiones definitivas, los resultados preliminares sugieren que la capacidad productiva

instalada supera ampliamente la demanda actual. Esto indicaría que la planta podría absorber un incremento en el nivel de pedidos sin generar cuellos de botella ni afectar la continuidad operativa.

Tiempo de respuesta (días)	
Máximo	6
Mínimo	0
Moda	0
Mediana	0
Promedio	0,65
Desviación Est.	1,25

Ilustración 19: Tabla resumen de datos obtenidos "Tiempo de respuesta"

Tiempo de procesamiento de ordenes

Al contabilizar los días transcurridos desde el inicio de una orden hasta la finalización de cada una de las etapas del proceso productivo, es posible estimar los plazos de entrega asociados a los distintos tipos de pedidos. En el caso analizado, los datos obtenidos del tablero de pedidos muestran que el tiempo total de producción varía entre cero y siete días.

La amplitud de este rango se explica principalmente por la naturaleza y complejidad de los productos solicitados. Para componentes o conjuntos que ya cuentan con un diseño estabilizado y validado, las órdenes suelen completarse dentro del mismo día. En contraste, aquellos pedidos que implican productos de mayor complejidad, modificaciones particulares o desarrollos específicos requieren un plazo considerablemente mayor, lo que eleva los tiempos de entrega registrados. Esta variabilidad evidencia la influencia directa del grado de ingeniería y del nivel de personalización sobre la duración total del ciclo productivo.

Al analizar exclusivamente las órdenes que cuentan con diseño finalizado, codificación asignada y lista de materiales completamente definida, se observa que el tiempo de procesamiento se encuentra dentro de un rango de entre cero y tres días, con un tiempo promedio cercano a un día. Esto indica un flujo de trabajo eficiente cuando no se requieren tareas adicionales de ingeniería.

En contraste, para aquellas órdenes que demandan actividades de diseño, rediseño o modificación de alguno de sus componentes, el tiempo total de procesamiento tiende a duplicarse, reflejando la carga adicional asociada al desarrollo técnico previo a la fabricación.

Se destaca, además, que, en casos excepcionales correspondientes a conjuntos de elevada complejidad, el tiempo máximo registrado alcanzó los 85 días, sin embargo, este valor atípico dentro de la muestra corresponde al procesamiento de un producto que se desarrolló desde cero una vez ingresada la orden de compra (evidenciando la influencia significativa del trabajo de ingeniería en los plazos generales del proceso productivo) y no fue tenido en cuenta para la estadística.

Tiempo de procesado (días)	
Máximo	7
Mínimo	0
Moda	0
Mediana	0
Promedio	0,97
Desviación Est.	1,77

Ilustración 20: Tabla resumen de datos obtenidos "Tiempo de procesado"

Tiempo de procesos por producto

A continuación, se presenta un gráfico correspondiente a los productos manufacturados con mayor frecuencia. Este permite identificar, entre otros aspectos, posibles cuellos de botella dentro del proceso productivo. El gráfico muestra el tiempo requerido por cada etapa del proceso, expresado en minutos y discriminado por tipo de producto, lo que facilita comparar la eficiencia relativa entre operaciones y determinar en qué puntos se concentra la mayor carga operativa.

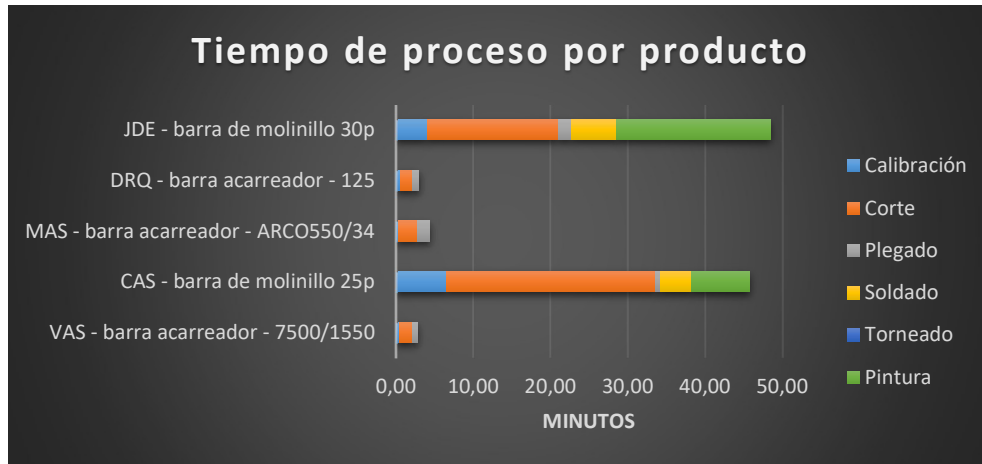


Ilustración 21: Tiempos de proceso de productos estimados con los datos obtenidos

A partir de los tiempos de procesamiento obtenidos, fue posible calcular la capacidad productiva de la planta, determinando la cantidad estimada de unidades que pueden fabricarse mensualmente según el tipo de producto manufacturado durante ese periodo de tiempo. Los valores resultantes se presentan en la siguiente tabla.

Capacidad productiva	
Producto	Capacidad productiva mensual
VAS - barra acarreador - 7500/1550	2657 unidades
CAS - barra de molinillo 25p	157 unidades
MAS - barra acarreador - ARCO550/34	1668 unidades
DRQ - barra acarreador - 125	2420 unidades
JDE - barra de molinillo 30p	148 unidades

Ilustración 22: Tabla de capacidad mensual instalada, discriminada por productos

Numero de ordenes según el mes del año

Esta información resulta fundamental para identificar posibles comportamientos estacionales en la demanda y, a su vez, constituye un insumo clave para la planificación de actividades estratégicas como capacitaciones,

paradas programadas de mantenimiento y la elaboración de un plan agregado de producción.

Los datos analizados evidencian una marcada disminución en el ingreso de órdenes durante los meses de julio y agosto, seguida por un aumento significativo en septiembre. Esta variación podría estar asociada a los ciclos agrícolas de siembra y cosecha de granos, los cuales suelen coincidir con períodos de menor demanda de maquinaria y repuestos por parte de los productores agrícolas, generando así un comportamiento estacional claramente observable en el flujo de pedidos.



Ilustración 23: Comportamiento de la demanda según los datos recopilados

Actividades de diseño desarrolladas

Situación inicial

Al inicio de la práctica se observó que el proceso de diseño estaba conformado por dos etapas claramente diferenciadas. En primera instancia, se realizaba la toma de medidas de una pieza existente con el fin de reconstruir su geometría y dimensiones mediante técnicas de ingeniería inversa, para posteriormente modelarla en un software de diseño asistido por computadora (CAD). La segunda etapa consistía en pasar directamente a la fabricación de la pieza a partir del modelo generado.

El principal inconveniente identificado fue que el proceso finalizaba en ese punto, sin que existiera una estructura formal de almacenamiento o gestión documental. Los archivos creados no se organizaban en una carpeta fija ni seguían un criterio estandarizado que permitiera consultarlos o modificarlos en el futuro. Asimismo, en el caso de conjuntos compuestos por múltiples piezas, los archivos individuales carecían de información sobre su correcto ensamble, y no se generaban planos de fabricación que pudieran ser entregados al operario para guiar el proceso productivo.

Si bien los conjuntos desarrollados hasta el momento presentaban un bajo nivel de complejidad, la ausencia de planos o referencias visuales del producto final aumentaba la probabilidad de errores de ensamble y dificultaba significativamente la comunicación entre el operario y su superior. Este escenario también limitaba la trazabilidad del diseño y restringía la capacidad de mantener o mejorar los productos a lo largo del tiempo.

Mejoras impulsadas

Gran parte de los inconvenientes previamente mencionados fueron mitigados mediante la adopción del sistema de codificación de piezas, el cual permitió establecer una relación estructurada entre cada conjunto y los elementos que lo componen. Gracias a este sistema fue posible organizar todos los archivos vinculados en carpetas específicas, identificadas con el mismo código asignado a la pieza o conjunto correspondiente, garantizando así una mejor trazabilidad y una estructura documental más ordenada.

Otra mejora significativa consistió en la elaboración de planos de ensamble para cada uno de los conjuntos fabricados, los cuales fueron archivados en carpetas físicas destinadas exclusivamente a este fin. Estos planos se entregan al operario al momento de realizar el armado, proporcionando una referencia visual estandarizada y reduciendo la probabilidad de errores durante el proceso de montaje.

Asimismo, y tal como se describió en el apartado correspondiente a actividades de gestión, se definió para cada conjunto una lista de materiales (BOM). Esta se compone de dos documentos complementarios:

1. **Listado de partes:** organizado jerárquicamente, detalla cada una de las piezas que integran el conjunto, indicando el tipo de material requerido y la cantidad a fabricar por unidad de producto.
2. **Listado de materiales:** resume de manera sintetizada la totalidad de materias primas necesarias para la fabricación del conjunto, especificando cantidades totales para facilitar la planificación y abastecimiento.

En la imagen posterior del informe se presenta un ejemplo concreto de esta estructura. De manera esquemática, la organización de las piezas dentro de la lista siguió el siguiente criterio representado en el diagrama expuesto debajo.

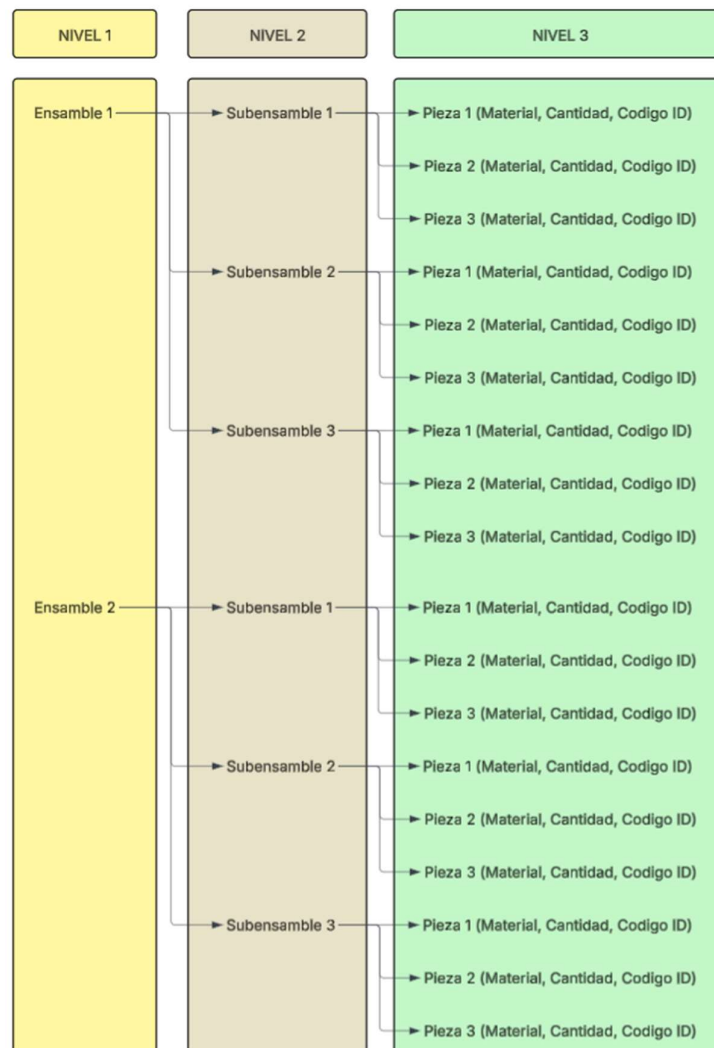


Ilustración 24: Esquema de organización de la lista de partes de un producto

De esta manera quedó conformado una metodología de diseño que, a partir de un boceto entregado, o bien de una muestra, obtiene como resultado un producto final junto con el tipo de materiales a emplear, la cantidad, y el proceso de manufactura necesario para su fabricación. El diagrama de flujo a continuación explica de manera resumida los pasos del mismo.

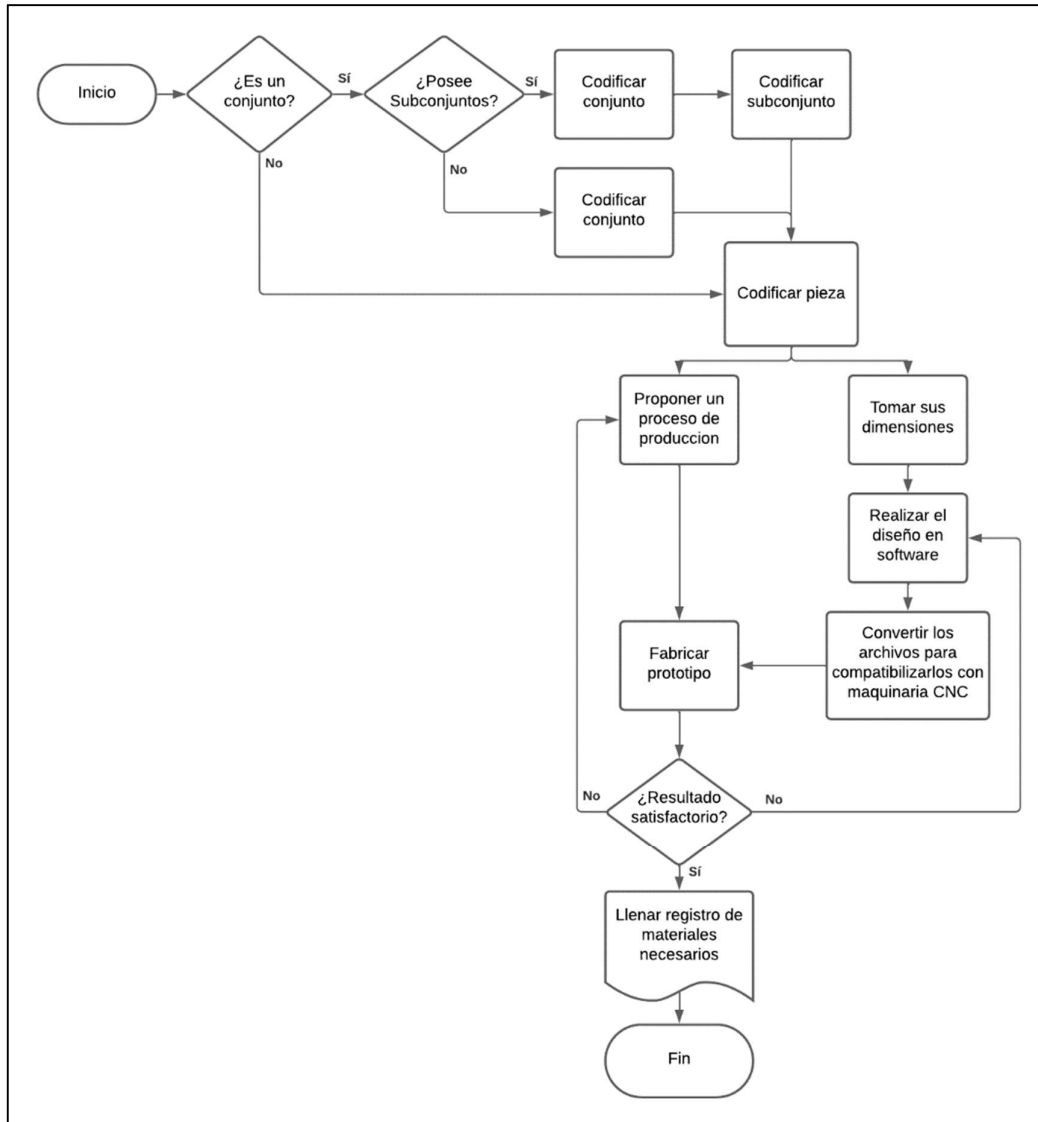


Ilustración 25: Diagrama de flujo del proceso de diseño de productos

Focalizando específicamente en la etapa de modelado CAD (la cual representa la porción más demandante en términos de tiempo dentro de toda la metodología) fue posible cuantificar los tiempos de elaboración de modelos digitales. A partir de los registros obtenidos, se determinó un tiempo promedio

de creación de 36 minutos por pieza, con un rango que oscila entre 15 y 120 minutos, dependiendo del nivel de complejidad involucrado.

En el extremo inferior del rango (15 minutos) se encuentran piezas que cuentan con planimetría completa y validada, lo que permite un modelado directo sin necesidad de realizar verificaciones geométricas adicionales. En contraste, los tiempos más elevados (hasta 120 minutos) corresponden a piezas que requieren la aplicación integral de ingeniería inversa, incluyendo mediciones manuales, verificación dimensional, reconstrucción geométrica y, en algunos casos, interpretación de superficies o geometrías irregulares.

A continuación, se ponen de manifiesto dos ejemplos de piezas fabricadas en planta cuyo diseño fue producto de la aplicación del método creado por el practicante.

Ejemplo de aplicación 1: Barra de acarreador modelo Vassalli 7500

Uno de los elementos mecánicos empleados en las máquinas cosechadoras es la barra del acarreador, componente fundamental del sistema de corte y alimentación. Su función principal es tomar el cultivo proveniente del embocador y transportarlo de manera continua hacia el sistema de trilla.

Dentro del canal de alimentación se encuentra un transportador compuesto por tres o cuatro cadenas, las cuales son vinculadas entre sí mediante estas barras, que actúan como elementos transversales de unión. El movimiento del transportador es accionado desde el rodillo ubicado más próximo al cilindro trillador. Durante su funcionamiento, el conjunto arrastra el material apoyándose sobre la superficie inferior del canal de alimentación, asegurando un flujo constante y uniforme del cultivo hacia las etapas posteriores del proceso de cosecha.

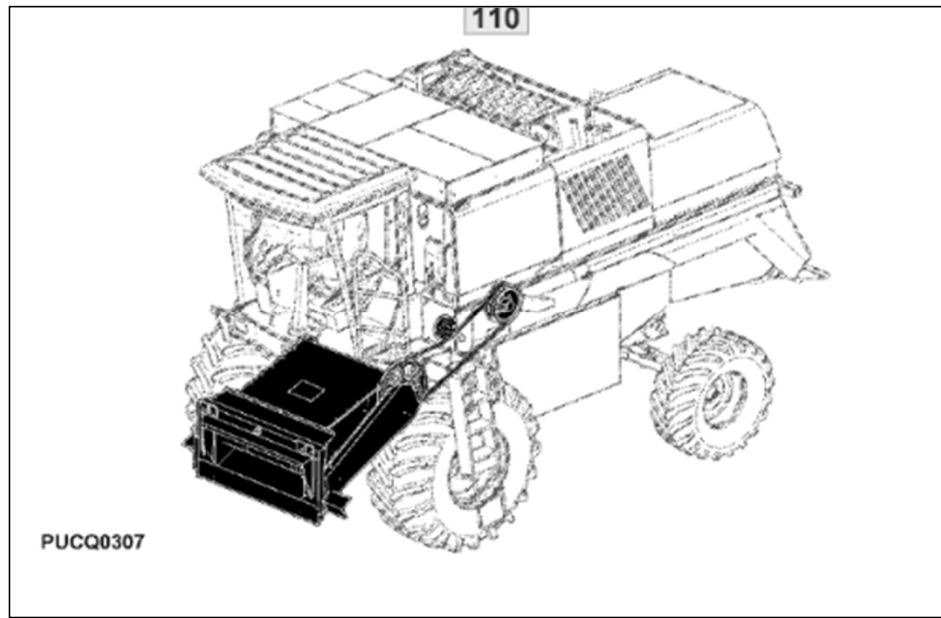


Ilustración 26: Canal de alimentación de una maquina cosechadora

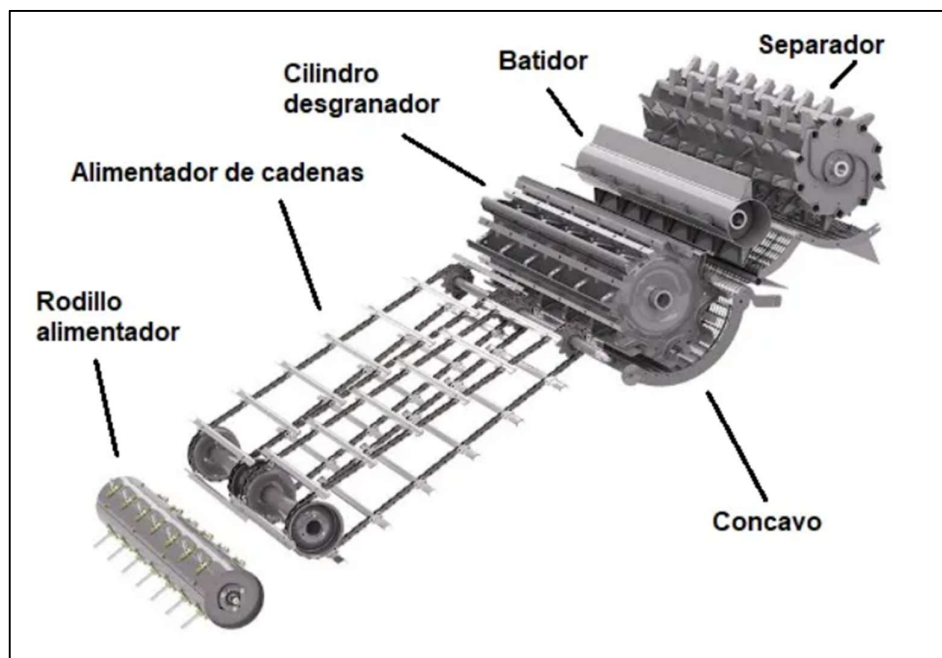


Ilustración 27: Elementos que componen al canal de alimentación y sistema de trilla

Generalmente dispone de un sistema para invertir el sentido de movimiento cuando se producen sobrecargas, que afecta también al sin-fin embocador; el rodillo más alejado del cilindro trillador es flotante y se ajusta para tensar las cadenas del transportador.

La anchura del canal de alimentación condiciona la capacidad de trabajo de la máquina y desde la plataforma de la maquina se fuerza al cultivo para que atraviese la boca que da paso al canal de alimentación, a partir de este momento es el transportador de cadenas el que se encarga de elevar el cultivo y alimentar uniformemente el cilindro trillador.

Para la fabricación de dicho producto se contó con la pieza ya manufacturada, por lo que el primer paso fue crear una codificación para la misma que incluyera el nombre del cliente, el nombre de la pieza, y un código de identificación. Luego se pensaron cuáles eran aquellos procesos necesarios para obtenerla, al verla fue evidente que al tratarse de un solo elemento de acero lo más conveniente sería cortar una plancha de acero SAE 1020 de 4.75mm de espesor con el contorno de la pieza, para luego mediante un proceso de plegado obtener la forma final del producto. Los taladros necesarios para que la pieza se sujete al conjunto de cadenas también fueron realizados mediante el proceso de corte laser, esta decisión se sustenta en que evidentemente la máquina de corte es capaz de realizar estos taladros ahorrándonos así un proceso posterior de agujereado.



Ilustración 28: Barra de acarreador

Una vez determinado el posible proceso productivo, se procede a tomar datos sobre la geometría de la pieza, para ello se utilizaron como herramientas de medición las siguientes:

- Calibre o pie de rey analógico de rango 0 – 150 mm con una resolución de 0.02 mm
- Transportador magnético 360° con resolución de 1°
- Cinta métrica de rango 0 – 5000 mm con resolución de 1 mm

Cabe destacar que cada uno de estos instrumentos tiene la resolución suficiente para poder asignarle tolerancias necesarias a cada una de las dimensiones de la pieza; dichas tolerancias se fijaron desde las tres décimas de milímetros para algunas dimensiones hasta el milímetro para otras, todas definidas pensando siempre en la función final del elemento a fabricar dentro del conjunto al que pertenece.

Es importante también mencionar que ninguno de los elementos utilizados posee certificados de calibración, por lo tanto, la incertidumbre de la medición realizada fue desconocida.



Ilustración 29: Elementos de medición utilizados

El paso siguiente a la elección de los instrumentos y a tomar las medidas correspondientes es el de dibujar en el software de diseño la pieza en cuestión. Dicho dibujo se hizo teniendo en cuenta el posible proceso productivo futuro por lo que, en este caso, se decidió realizar una pieza extruida a partir de un croquis y luego utilizar el complemento de chapa metálica del software, para poder realizar las bridas de arista de la pieza.

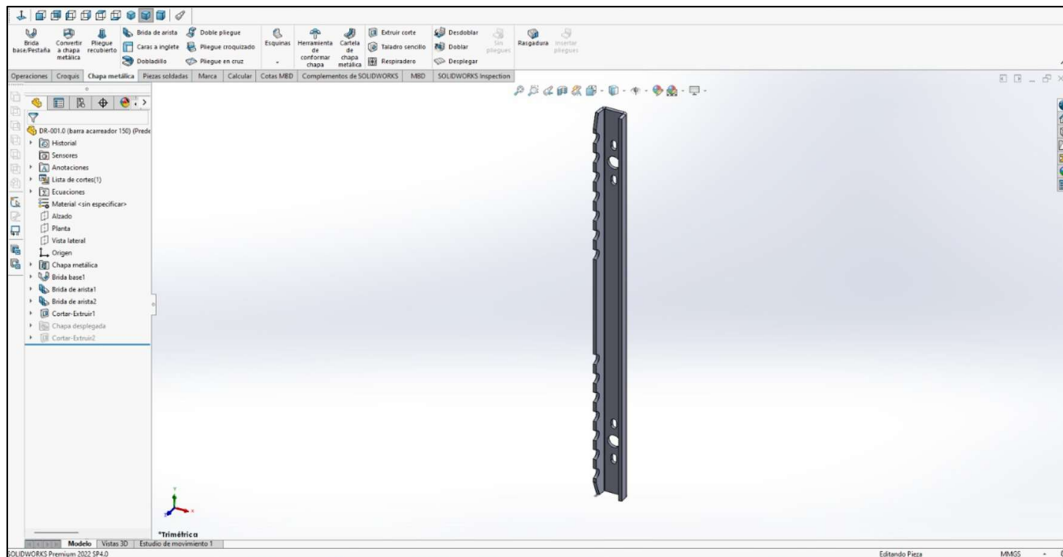


Ilustración 30: Generación del modelo virtual de la barra de acarreador

Una vez terminado el dibujo, fue necesario guardarlo con extensión “.DXF” para luego poder ingresarlo en el software de la cortadora laser y que esta genere las instrucciones de corte.

En la etapa de corte, mediante el uso del software “CyPCut Laser CuttingSystem” primero se centró la chapa en la mesa de corte corroborando que cada una de las aristas de la misma coincida con los extremos de la zona de corte que recorre el cabezal; luego, se limpió tanto la chapa como el lente del cabezal (previamente seleccionado en función del espesor de chapa a cortar) y se calibró la distancia focal.

Realizado lo anterior, se procedió a abrir el archivo de la pieza en el software y se ubicó dentro del espacio de trabajo marcado por el programa, no solo la pieza sino también la cantidad a cortar para finalmente comenzar con el proceso.



Ilustración 31: Barras de acarreador ya cortadas con la maquina laser

Una vez cortada la pieza se envió hasta la zona de plegado, allí la maquina se programó en función del espesor de la chapa a plegar, el ángulo necesario y la cantidad de pliegues. Finalizado el proceso, se corroboró que las medidas del producto final coincidieran con las medidas de la pieza modelo teniendo en cuenta las respectivas tolerancias seleccionadas.

En este caso, si bien las medidas daban correctamente, se detectó que en la zona de sujeción de la pieza quedó deformada debido al proceso de plegado y a la escasa presencia de material en la zona donde hace contacto el punzón. Esto es obviamente un error a corregir, cambiando alguna característica del proceso productivo o bien alguna característica geométrica de la pieza.



Ilustración 32: Error en el prototipo ocasionado durante el proceso de plegado

En ese momento se optó por rediseñar el elemento agregándole un desahogo rectangular en la zona deformada. Finalmente, con todo corregido, se procede a rellenar la planilla de materiales necesarios, y se realizan los planos definitivos.



Ilustración 33: Producto validado



Ilustración 34: Barras listas para entregar

Pieza/Conjunto	Material	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Area x pieza (m ²)	#	Peso (Kg)
VASS - barra acarreador - 7500	3/16" - 4.8 mm		71	591	4.75	0.0420	1.56

Ilustración 35: Material necesario para la fabricacion

Ejemplo de aplicación 2: Pateador para maíz caído

El pateador para maíz caído es un dispositivo que se utiliza en cosechadoras de maíz para facilitar la recolección de plantas que están inclinadas o caídas debido a factores como el clima o enfermedades. El pateador ayuda a ingresar los tallos a la cosechadora cuando no están erguidos, mejorando la eficiencia de la cosecha.



Ilustración 36: Pateador para maíz caído ubicado en plataforma

En esencia, el pateador es como un molinete que ayuda a impulsar las plantas caídas hacia el interior de la cosechadora, asegurando que la mayor cantidad posible de maíz sea recolectada.

Dicho conjunto se compone de varios ensambles principales que, a su vez, se componen de propios subensambles, y estos últimos por piezas; por esta razón y a fin de facilitar el reconocimiento de cada una de las piezas se dividió el conjunto en los siguientes ensambles, y luego se realizó el siguiente árbol de componentes:

Brazo

- PRT - pateador de maíz - brazo - 80x40x5
- PRT - pateador de maíz - brazo - PER001
- PRT - pateador de maíz - brazo - PLA001
- PRT - pateador de maíz - brazo - PLA002
- PRT - pateador de maíz - brazo - PLA003
- PRT - pateador de maíz - brazo - PLA004

Punto de transmisión

- PRT - pateador de maíz - punto de transmisión - ENS001
 - PRT - pateador de maíz - punto de transmisión - ENS001 - 001
 - PRT - pateador de maíz - punto de transmisión - ENS001 - 002
 - PRT - pateador de maíz - punto de transmisión - ENS001 - 003
 - PRT - pateador de maíz - punto de transmisión - ENS001 - 004
 - PRT - pateador de maíz - punto de transmisión - ENS001 - 005
 - PRT - pateador de maíz - punto de transmisión - ENS001 - 006
- PRT - pateador de maíz - punto de transmisión - ENS002
 - PRT - pateador de maíz - punto de transmisión - ENS002 - 001
 - PRT - pateador de maíz - punto de transmisión - ENS002 - 002
 - PRT - pateador de maíz - punto de transmisión - ENS002 - 003
 - PRT - pateador de maíz - punto de transmisión - ENS002 - 004
 - PRT - pateador de maíz - punto de transmisión - ENS002 - 005

Punto giratorio

- PRT - pateador de maíz - punto giratorio - ENS001
 - PRT - pateador de maíz - punto giratorio - ENS001 - 001
 - PRT - pateador de maíz - punto giratorio - ENS001 - 002
 - PRT - pateador de maíz - punto giratorio - ENS001 - 003
 - PRT - pateador de maíz - punto giratorio - ENS001 - 004
 - PRT - pateador de maíz - punto giratorio - ENS001 - 005
- PRT - pateador de maíz - punto giratorio - ENS002
 - PRT - pateador de maíz - punto giratorio - ENS002 - 001
 - PRT - pateador de maíz - punto giratorio - ENS002 - 002
 - PRT - pateador de maíz - punto giratorio - ENS002 - 003
- PRT - pateador de maíz - punto giratorio - ENS003
 - PRT - pateador de maíz - punto giratorio - ENS003 - 001

PRT - pateador de maíz - punto giratorio - ENS003 – 002

Soporte chasis

- PRT - pateador de maíz - soporte chasis - Aleta
- PRT - pateador de maíz - soporte chasis - Base P001
- PRT - pateador de maíz - soporte chasis - Base P002
- PRT - pateador de maíz - soporte chasis - Lateral
- PRT - pateador de maíz - soporte chasis - Ref001
- PRT - pateador de maíz - soporte chasis - Ref002
- PRT - pateador de maíz - soporte chasis - Ref003

Uña

- PRT - pateador de maíz - uña - Lateral
- PRT - pateador de maíz - uña - Refuerzo
- PRT - pateador de maíz - uña - Separador
- PRT - pateador de maíz - uña - Tapa trasera

Luego de terminada la codificación, se definieron los procesos necesarios para su fabricación, estos son el corte de planchas de acero SAE 1020 por laser, para luego ser plegadas y unidas por soldadura; cabe destacar que algunas de estas piezas poseen uniones no permanentes, en estos casos el proceso de unión no es por soldadura sino a través de bulones.

Pasando a la etapa de medición, se utilizaron los mismos elementos que en el caso anterior, y se realizó el modelo de cada una de las piezas en SolidWorks con el complemento de chapa metálica incluido en el software, para luego realizar los respectivos subensambles y ensambles. Posteriormente se fabricaron cada una de las piezas y se realizó el primer prototipo.

En este caso se encontraron problemas en dos piezas particulares en las cuales se debieron tomar acciones correctivas.

La primera fue la pieza “PRT - pateador de maiz - punto de transmisión - ENS001 - 004” que debido a su diseño y las formas de sus bridas, era imposible, mediante la maquina plegadora disponible, realizar dos de los cinco pliegues necesarios; hubo muchas propuestas de rediseño, entre ellas eliminar dichos

pliegues, pero se determinó que esto debilitaría mucho a la pieza y que debería hacerse de manera imperativa un estudio de esfuerzos.

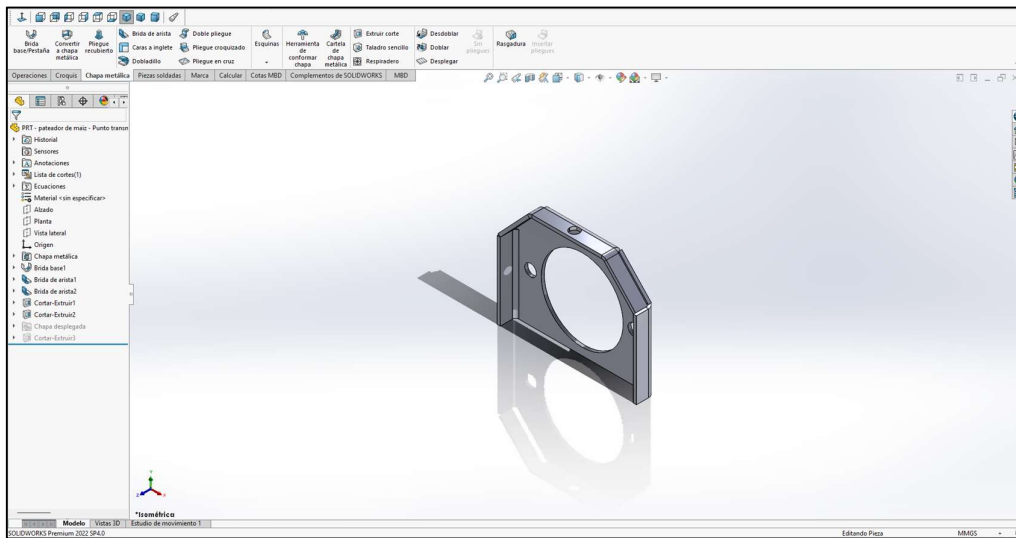


Ilustración 37: Diseño final de tensor de cadena

Para ahorrar tiempo, se propuso luego que las bridas en ángulo no sean plegadas desde el cuerpo principal de la pieza, sino que en cambio lo hagan desde una de las mismas bridas de la pieza. Esto con el fin de que la geometría de la chapa desplegada permite introducir la pieza en la plegadora disponible, de esta manera la cantidad de material seguiría siendo la misma y los esfuerzos se distribuyeron de la misma forma que antes, por lo que esta opción fue la seleccionada.

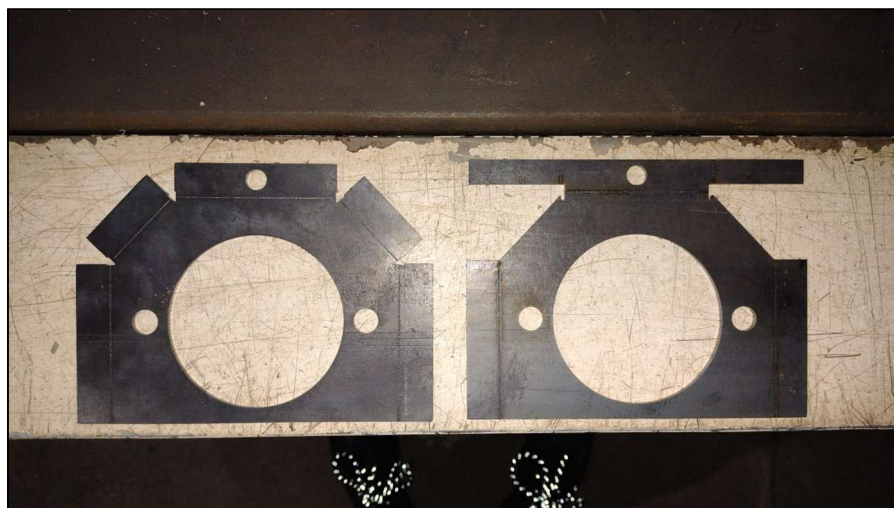


Ilustración 38: Comparativa diseño inicial vs diseño final

Rediseñado el componente, ahora se realizó el prototipo y este cumplió satisfactoriamente con la inspección final.

Otra de las piezas que debía ser repensada fue “PRT - pateador de maíz - uña” debido a que luego del proceso de soldadura los laterales de la misma se dilataban y se perdía el paralelismo entre ambas caras, esto si bien no generaba un problema de funcionamiento del elemento si generaba un punto de no conformidad en cuanto a los estético, por lo que en este caso se optó por fabricar unos separadores provisionarios para utilizar durante el proceso de soldadura y así mantener los laterales de la uña firmes, solucionando el problema.

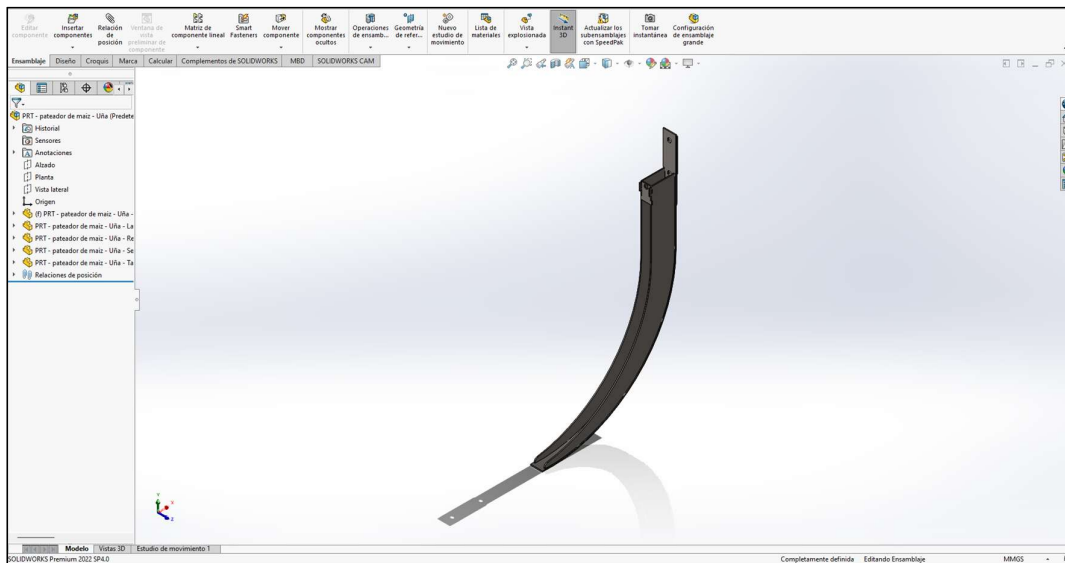


Ilustración 39: Diseño virtual del subensamble “PRT - pateador de maíz – uña”

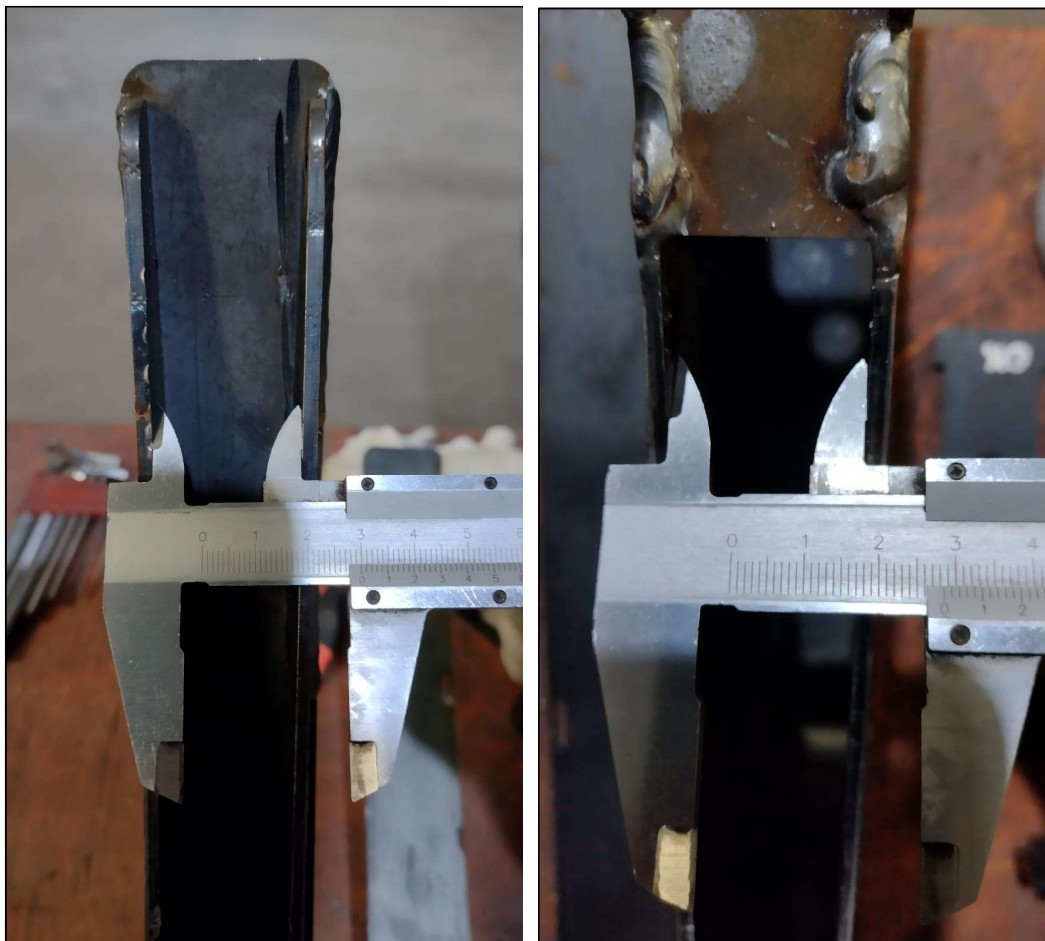


Ilustración 40: Discrepancias de medidas entre dos secciones del subensamble

Las últimas de las piezas que dieron problemas a la hora de plegarlas fueron “PRT - pateador de maíz - brazo - PLA003” y “PRT - pateador de maíz - brazo - PLA004”. Estas también cuentan con un pliegue en ángulo imposible de realizar con la maquina disponible, que hace que no se pueda introducir la pieza en la plegadora y por lo tanto realizar los pliegues correctamente.

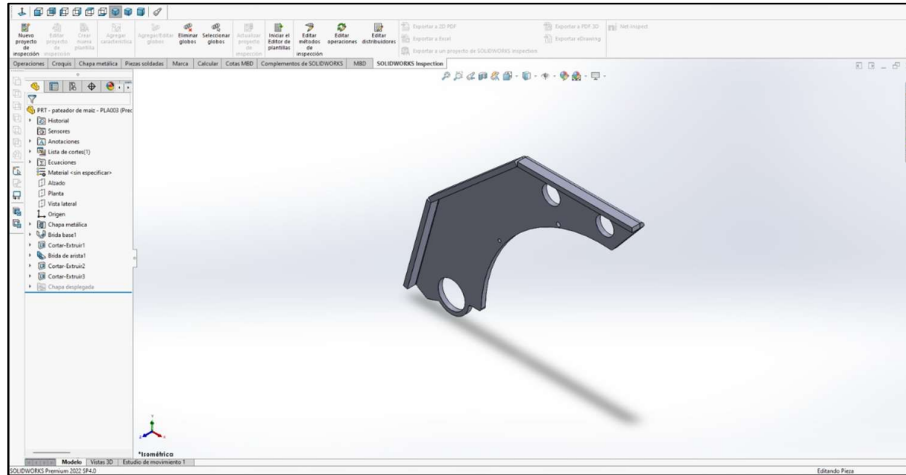


Ilustración 41: Diseño virtual de pieza "PRT - pateador de maíz - brazo - PLA003"

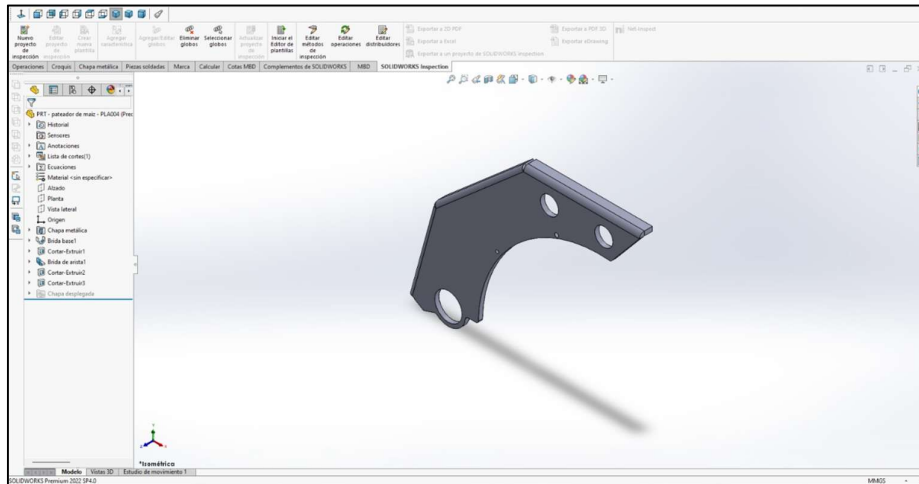


Ilustración 42: Diseño virtual de pieza "PRT - pateador de maíz - brazo - PLA004"

Para solucionar este problema se decidió cambiar el punzón de la máquina plegadora por un punzón del largo de la brida, de esta manera la pieza ahora entra en la zona de trabajo de la máquina y por lo tanto el proceso es apto.

Solucionados estos problemas, se realizaron los planos de fabricación necesarios, la lista de partes y materia prima dando por finalizado satisfactoriamente el proceso de diseño de pateador de maíz caído, quedando así listo para su fabricación.

Ensamble	Subensamble	Pieza	Material	Cantidad	Código ID
Brazo				2	PRT - pateador de maíz - Brazo
Brazo		80x40x5	CAÑO ESTRUCTURAL 80 x 40 x 5	1	PRT - pateador de maíz - Brazo - 80x40x50
Brazo		PER001	TREF. MACIZO DE 60	1	PRT - pateador de maíz - Brazo - PER001
Brazo		PLA001	CH. ACERO 3/16	1	PRT - pateador de maíz - Brazo - PLA001
Brazo		PLA002	CH. ACERO 3/8	1	PRT - pateador de maíz - Brazo - PLA002
Brazo		PLA003	CH. ACERO 3/8	1	PRT - pateador de maíz - Brazo - PLA003
Brazo		PLA004	CH. ACERO 3/8	1	PRT - pateador de maíz - Brazo - PLA004
Punto de transmisión				1	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión
Punto de transmisión	ENS001			1	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión - ENS001
Punto de transmisión	ENS001	001	CH. ACERO 3/16	2	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión - ENS001 - 001
Punto de transmisión	ENS001	002	CH. ACERO 1/8	1	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión - ENS001 - 002
Punto de transmisión	ENS001	003	CH. ACERO 1/8	1	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión - ENS001 - 003
Punto de transmisión	ENS001	004	CH. ACERO 1/8	1	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión - ENS001 - 004
Punto de transmisión	ENS001	005	CH. ACERO 3/16	1	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión - ENS001 - 005
Punto de transmisión	ENS001	006	CH. ACERO 1/8	1	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión - ENS001 - 006
Punto de transmisión	ENS002			1	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión - ENS002
Punto de transmisión	ENS002	001	CH. ACERO 3/16	2	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión - ENS002 - 001
Punto de transmisión	ENS002	002	CH. ACERO 1/2	1	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión - ENS002 - 002
Punto de transmisión	ENS002	003	CH. ACERO 1/2	1	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión - ENS002 - 003
Punto de transmisión	ENS002	004	CH. ACERO 1/2	1	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión - ENS002 - 004
Punto de transmisión	ENS002	005	CH. ACERO 1/4	4	PRT - pateador de maíz - Punto de transmisión - ENS002 - 005
Punto de transmisión	Varios				N/A
Punto de transmisión	Varios	Rondana	TREF. MACIZO DE 60	4	N/A
Punto de transmisión	Varios	Bulones roldana c/tuerca y arandela	BULON HEXAGONAL ACERADO CAL. 8.8 M16 X 40 PASO 2	4	N/A
Punto de transmisión	Varios	Separadores	TREF. MACIZO DE 25	4	N/A
Punto de transmisión	Varios	Tornillo c/tuerca + arandela p/ ajustar cadena	BULON HEXAGONAL ACERADO CAL. 8.8 M8 X 60 PASO 1,25	1	N/A
Punto de transmisión	Varios	Rodamientos	RODAMIENTO RIGIDO DE UNA HILERA 6203	4	N/A
Punto de transmisión	Varios	Seguro rodamiento	SEGURO SEGER INTERIOR PARA ORIFICIO DE 40 mm	4	N/A
Punto de transmisión	Varios	Tornillos fijacion pieza 002	BULON HEXAGONAL ACERADO CAL. 8.8 M10 X 30 PASO 1,5	4	N/A
Punto de transmisión	Varios	Perno seguro p/posicion de trabajo	HIERRO NEGRO DE 12	1	N/A
Punto de transmisión	Varios	Bulon de fijacion entre punto giratorio/eje c/tuerca + arandela	BULON HEXAGONAL ACERADO CAL. 8.8 M8 X 120 PASO 1,25	1	N/A
Punto de transmisión	Varios	Resorte	RESORTE 30 X 45 ESPIRA DE 3	1	N/A
Punto de transmisión	Varios	Fijacion p/Perno seguro p/posicion de trabajo	CHAVETA RAPIDA TIPO R GALV. 3 X 85 mm	1	N/A
Punto de transmisión	Varios	Patines	PATIN ANTIDEGASTE DE PETG/NYLON	6	N/A
Punto giratorio				1	PRT - pateador de maíz - Punto giratorio
Punto giratorio	ENS001			1	PRT - pateador de maíz - Punto giratorio - ENS001
Punto giratorio	ENS001	001	CH. ACERO 3/16	2	PRT - pateador de maíz - Punto giratorio - ENS001 - 001
Punto giratorio	ENS001	002	CH. ACERO 1/8	1	PRT - pateador de maíz - Punto giratorio - ENS001 - 002
Punto giratorio	ENS001	003	CH. ACERO 1/8	1	PRT - pateador de maíz - Punto giratorio - ENS001 - 003
Punto giratorio	ENS001	004	CH. ACERO 3/16	1	PRT - pateador de maíz - Punto giratorio - ENS001 - 004
Punto giratorio	ENS001	005	CH. ACERO 1/8	1	PRT - pateador de maíz - Punto giratorio - ENS001 - 005
Punto giratorio	ENS002			1	PRT - pateador de maíz - Punto giratorio - ENS002
Punto giratorio	ENS002	001	CH. ACERO 3/16	2	PRT - pateador de maíz - Punto giratorio - ENS002 - 001
Punto giratorio	ENS002	002	CH. ACERO 1/2	1	PRT - pateador de maíz - Punto giratorio - ENS002 - 002
Punto giratorio	ENS002	003	CH. ACERO 1/2	1	PRT - pateador de maíz - Punto giratorio - ENS002 - 003
Punto giratorio	Varios				N/A
Punto giratorio	Varios	Rondana	TREF. MACIZO DE 60	4	N/A
Punto giratorio	Varios	Bulones roldana c/tuerca y arandela	BULON HEXAGONAL ACERADO CAL. 8.8 M16 X 40 PASO 2	4	N/A
Punto giratorio	Varios	Separadores	TREF. MACIZO DE 25	4	N/A
Punto giratorio	Varios	Rodamientos	RODAMIENTO RIGIDO DE UNA HILERA 6203	4	N/A
Punto giratorio	Varios	Seguro rodamiento	SEGURO SEGER INTERIOR PARA ORIFICIO DE 40 mm	4	N/A
Punto giratorio	Varios	Tornillos fijacion pieza 002	BULON HEXAGONAL ACERADO CAL. 8.8 M10 X 30 PASO 1,5	4	N/A
Punto giratorio	Varios	Perno seguro p/posicion de trabajo	HIERRO NEGRO DE 12	1	N/A

Ilustración 43: Lista de parte correspondiente al producto "pateador para maíz caído"

Conclusiones

El desarrollo de la práctica profesional permitió analizar en profundidad el funcionamiento del sistema productivo de la empresa y detectar una serie de oportunidades de mejora que fueron abordadas mediante herramientas de gestión, organización documental y estandarización de procesos.

La implementación del sistema de codificación de piezas constituyó uno de los avances más significativos, ya que permitió establecer una relación jerárquica clara entre conjuntos, subconjuntos y piezas individuales, mejorando la trazabilidad, la organización de archivos y la consistencia del flujo de información. A esto se sumó la elaboración de planos de ensamble y la definición de listas de materiales (BOM), elementos que fortalecieron la comunicación con el personal operativo y redujeron la probabilidad de errores durante la fabricación y el montaje.

El tablero de seguimiento de pedidos aportó una visión cuantitativa y cualitativa del flujo de trabajo. Los datos obtenidos permitieron medir el tiempo de respuesta entre la recepción y el inicio de una orden, así como los tiempos

totales de procesamiento según el tipo de producto. Se observó que los conjuntos estandarizados, ya diseñados y codificados, presentan tiempos de ciclo considerablemente reducidos (entre 0 y 3 días) en contraste con las órdenes que requieren diseño o modificaciones, las cuales duplican su tiempo de procesamiento y, en casos especiales de extrema complejidad, se alcanzaron valores máximos atípicos de hasta 85 días. Esta variabilidad evidenció el impacto directo de la ingeniería en los plazos productivos y permitió identificar aquellas etapas críticas del proceso.

El análisis de la capacidad instalada, basado en los tiempos reales de manufactura, permitió estimar el volumen mensual de producción posible para cada tipo de componente. A su vez, el registro cronológico de pedidos evidenció patrones estacionales: una marcada reducción de la demanda en julio y agosto, seguida por un incremento significativo en septiembre, coincidente con los ciclos agrícolas de siembra y cosecha. Esta información constituye un insumo esencial para la planificación estratégica, ya que habilita la programación de actividades de capacitación, las paradas preventivas de mantenimiento y la elaboración de un plan agregado de producción acorde a la demanda esperada.

Asimismo, se identificó la necesidad de controlar no solo la materia prima principal sino también los consumibles críticos utilizados en planta. La creación de un registro codificado de insumos, acompañado de niveles de criticidad, permitió mejorar el seguimiento del inventario y anticipar necesidades de reabastecimiento, evitando demoras asociadas a insumos de difícil importación o baja disponibilidad en el mercado.

Por último, se plantearon mejoras orientadas al fortalecimiento del proceso industrial en su conjunto, como la propuesta de implementar órdenes de trabajo formales (que faciliten la comunicación y el control del desempeño operativo) y la sugerencia de adoptar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad, con el fin de reducir fallas imprevistas y prolongar la vida útil de los equipos.

En síntesis, los procedimientos abordados en el presente informe permitieron incrementar significativamente la eficiencia, la trazabilidad y la capacidad de planificación de la planta, y además, las herramientas

implementadas constituyen una base sólida para continuar optimizando el sistema productivo y para apoyar decisiones estratégicas que contribuyan al crecimiento sostenido de la empresa en un futuro.

Bibliografía de referencia

Luis J. Lima. (2011). *Bases y fundamentos del proyecto de estructuras* [Material de estudio]. Cátedra Estabilidad IV, Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

Mikell P. Groover. (2007). *Fundamentos de la manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas* (3° ed.). Mc Graw Hill.

Roger G. Schroeder, Susan Meyer Goldstein, M. Johnny Rungtusanatham. (2011). *Administración de las operaciones: Conceptos y casos contemporáneos* (5° ed.). Mc Graw Hill.