TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTACION DE TRABAJO BECKWOOD

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:

JOSE EDUARDO TANECO VASQUEZ

NOMBRE DEL ASESOR:

MTRO. DANIEL ANTONIO AGUILAR RUIZ

APIZACO, TLAX., AGOSTO 2026

Instituto Tecnológico de Apizaco
Subdirección de Planeación

Apizaco, Tlax. 03/marzo/2026

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación integral:

Nombre del Egresado:	JOSE EDUARDO TANECO VASQUEZ
Carrera:	INGENIERÍA INDUSTRIAL
No. De control:	21370597
Nombre del proyecto:	"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIÓN DE TRABAJAO BECKWOOD"
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE
EXCELENCIA EN EDUCACION TECNOLOGICA ®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MTRO. ARMANDO BARRAZA HINIESTA
JEFE DE DEPTO. INGENIERÍA INDUSTRIAL

MTRO. DANIEL ANTONIO AGUILAR RUIZ
ASESOR INTERNO

c.c.p._Div. Est. Prof. (interesado)
c.c.p._Archivo

Educación
Secretaría de Educación Pública

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 11/mayo/2026

JOSE EDUARDO TANECO VASQUEZ
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CON NÚMERO DE CONTROL 21370597.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIÓN DE TRABAJO BECKWOOD",** conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

EDUCACIÓN | TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

MTRA. CECILIA YARELLY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo
CYAL/gvm*

2026 año de Margarita Maza

2. AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto no habría sido posible sin el apoyo, la guía y el acompañamiento de diversas personas e instituciones que han sido parte fundamental de mi formación personal y profesional. En primer lugar, agradezco profundamente a mi familia, a mi papá, mamá y hermano, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser el pilar que me ha sostenido a lo largo de este camino. Gracias por creer en mí, por los sacrificios realizados y por impulsarme siempre a dar lo mejor de mí en cada etapa de mi vida.

Agradezco de manera especial al **Instituto Tecnológico de Apizaco**, institución que durante los últimos cuatro años fue mi casa académica y el espacio donde adquirí los conocimientos, valores y bases necesarias para mi desarrollo como ingeniero y como persona. Asimismo, expreso mi agradecimiento a la empresa **Greenbrier Tlaxcala**, por brindarme la oportunidad de realizar mis residencias profesionales, así como por la confianza, el aprendizaje y la experiencia adquirida en un entorno industrial real que contribuyó de manera significativa a mi crecimiento profesional.

De igual forma, agradezco a mis asesores por su orientación y apoyo durante el desarrollo de este proyecto: al **Maestro Daniel Antonio Aguilar Ruiz**, asesor interno, y al **Ingeniero Andrés López Forjas**, asesor externo, quienes con su conocimiento, experiencia y disposición fueron pieza clave para la correcta ejecución y conclusión de este trabajo.

Finalmente, agradezco a **Dios**, quien ha sido mi guía y fortaleza a lo largo de este largo camino de formación, dándome la oportunidad, la perseverancia y la sabiduría para superar cada reto y alcanzar esta importante etapa de mi vida

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 11

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA U ORGANIZACIÓN Y DEL PUESTO O ÁREA DE TRABAJO DEL ESTUDIANTE 13

2.1 Misión y visión 14

2.2 Política de calidad 14

2.3 Prioridades de la empresa 14

2.4 Productos de Greenbrier 15

2.5 Ubicación de la empresa 16

2.6 Organigrama general 17

2.7 Organigrama de Mejora continua e Ingeniería Industrial 17

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO 18

4. PROBLEMAS A RESOLVER, PRIORIZÁNDOLOS 19

5. OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECIFICO) 20

6. JUSTIFICACIÓN 21

7. MARCO TEÓRICO 25

7.1 Estación de trabajo y ergonomía 25

7.2 Distribución de planta (Layout) 32

7.3 Manufactura interna vs compra externa 34

7.4 Mejora continúa 36

7.5 Estudio de tiempos y movimientos 37

8. DESARROLLO DEL PROYECTO 40

8.1 Alcance del proyecto 40

8.2 Proceso actual 41

8.3 Análisis costo - beneficio 42

8.4 Aprobación del proyecto 46

8.5 Requerimientos de la estación 47

8.6 Layout preliminar 48

8.6.1 Validación de Layout por departamento de seguridad e ingeniería 51

8.7 Áreas auxiliares 53

8.8 Recursos adicionales 56

8.9 Traslado de equipo Beckwood 58

8.10 Preparación de área en bahía 4 60
8.11 Instalación y ubicación de equipos 64
8.11.1 Verificación de condiciones de seguridad y ergonomía 67
8.12 Solicitud de personal operativo 68
8.13 Piezas piloto 69
8.13.1 Validación de piezas piloto por QA 70
8.14 HTE (Hoja de Trabajo Estándar) 71
8.15 HE (Hojas de Empaque) 72
8.16 Estudio de tiempos y movimientos 74
8.16.1 Diagrama Yamazumi y balanceo de cargas 78
8.17 Mermas del proceso 93
8.17.1 Presentación de resultados a ESG (Equipo de Soporte Greenbrier) 94
8.17.2 Plan para la eliminación de desperdicios 95
8.17.3 Gestión de propuesta de mejoras 96
8.17.4 Implementación de mejoras 97
8.18 Evaluación de resultados finales 104
9. RESULTADOS 106
10. CONCLUSIONES 108
10.1 CONCLUSIONES DE PROYECTO, RECOMENDACIONES Y EXPERIENCIA PERSONAL PROFESIONAL ADQUIRIDA 108
11. COMPETENCIAS DESARROLLADAS 110
12. FUENTES DE INFORMACIÓN 111
13. ANEXOS 112

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

1. **Tabla 1. Productos de Greenbrier** 14
2. **Tabla 2. Costos de RING ASSY-HATCH CON PROVEEDOR**..... 41
3. **Tabla 3. Costos de guardarraíl con proveedor** 41
4. **Tabla 4. Costo de fabricación de partes primarias RING ASSY-HATCH** 41
5. **Tabla 5. Costo de soldadura de RING ASSY-HATCH** 42
6. **Tabla 6. Costos de fabricación interna de guardarraíl** 42
7. **Tabla 7. Análisis costo beneficio general** 43
8. **Tabla 8. Resumen de ahorros por car set**..... 43
9. **Tabla 9. Resumen general de ahorros** 43
10. **Tabla 10. Recursos adicionales y misceláneos de estación**..... 55
11. **Tabla 11. Toma de tiempos de sierra cinta** 72
12. **Tabla 12. Toma de tiempos de Beckwood** 73
13. **Tabla 13. Toma de tiempos de Beckwood** 73
14. **Tabla 14. Toma de tiempos de ensamble de Ring Assy Hatch** 75
15. **Tabla 15. Tiempos de armado de Assy Hatch Ring** 89
16. **Tabla 16. Tiempo disponible de trabajo por turno** 89
17. **Tabla 17. Tiempo de proceso por pieza** 89
18. **Tabla 18. Tiempo disponible por turno** 105
19. **Tabla 19. Tiempo de proceso por pieza balanceado** 105

FIGURAS

20. **Figura 1. Vista satelital de Greenbrier Tlaxcala** 14
21. **Figura 2. Organigrama de planta** 15
22. **Figura 3. Organigrama de departamento MCII** 15
23. **Figura 4. Consideraciones ergonómicas para el análisis de puestos** 23
24. **Figura 5. Posiciones incorrectas (a) y correcta (b) para cargar** 26
25. **Figura 6. Área normal y máxima de trabajo** 26
26. **Figura 7. Layout preliminar estación de trabajo Beckwood** 48
27. **Figura 8. Layout preliminar firmado por los departamentos de Seguridad e Ingeniería** 50
28. **Figura 9. Área de producto terminado establecido en Layout** 52
29. **Figura 10. Área de materia prima establecido en Layout** 52
30. **Figura 11. Área de producto no conforme establecido en Layout** 53
31. **Figura 12. Equipo Beckwood sobre lowboy el cual lo transporto** 56
32. **Figura 13. Equipo Beckwood sobre lowboy el cual lo transporto** 57
33. **Figura 14. Equipo Beckwood sobre lowboy el cual lo transporto** 57
34. **Figura 15. Materia prima en lugar destinado a equipo Beckwood** 59
35. **Figura 16. Racks y carros logísticos en área de maniobra** 59
36. **Figura 17. Placas de acero en área de maniobra** 60
37. **Figura 18. Lugar destinado a equipo Beckwood** 60
38. **Figura 19. Vértices marcados donde se posiciono equipo** 61
39. **Figura 20. Bajada de electricidad realizada por mantenimiento** 61
40. **Figura 21. Grúa que realizo descarga de equipo** 63
41. **Figura 22. Operador enganchando eslingas en equipo** 63
42. **Figura 23. Grúa realizando descarga de equipo** 64
43. **Figura 24. Departamento de mantenimiento comenzando habilitación del equipo** 64
44. **Figura 25. Equipo Beckwood colocado en posición asignada** 65

GRAFICAS

45. **Grafica 1. Diagrama Yamazumi Sierra Cinta** 77
46. **Grafica 2. Diagrama Yamazumi Beckwood Ring Assy Hatch** 78
47. **Grafica 3. Diagrama Yamazumi Beckwood Guardarraíl** 80
48. **Grafica 4. Diagrama Yamazumi Limpieza y corte de anillos** 82
49. **Grafica 5. Diagrama Yamazumi Soldadura de Ranura**..... 85
50. **Grafica 6. Diagrama Yamazumi armado de Assy Hatch Ring** 88
51. **Grafica 7. Diagrama Yamazumi balanceo de limpieza de sabana** 96
52. **Grafica 8. Diagrama Yamazumi balanceo de corte de oruga** 97
53. **Grafica 9. Diagrama Yamazumi balanceo de soldadura de ranura** 99
54. **Grafica 10. Diagrama Yamazumi balanceo de armado de Assy Hatch Ring**..... 100

3. RESUMEN

El desarrollo del proyecto se realizó dentro de la empresa GREENBRIER TLAXCALA, la cual se ubica en Ciudad Industrial Xicohtencatl I, el área por la cual se desarrolló el proyecto es Mejora Continua e Ingeniería Industrial y se llevó a cabo en bahía 4 de plasma city. El proyecto consiste en diseñar e implementar una nueva estación de trabajo en donde el principal proceso será realizado por una maquina prensadora de la marca BECKWOOD.

La estación de trabajo está conformada por 3 procesos diferentes, el corte de la materia prima por medio de una sierra cinta, el doblado de la pieza y el prensado de esta por medio de la maquina BECKWOOD. Al mismo tiempo se determinaron los espacios necesarios para la materia prima, producto terminado y producto no conforme, asegurando un flujo correcto del proceso.

También se llevará a cabo la colocación y descarga de la maquina BECKWOOD ya que fue trasladada de una empresa hermana ubicada en Sahagún, Pachuca.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas dedicadas a la manufactura enfrentan el reto de mejorar su competitividad mediante la reducción de costos, la optimización de procesos y el aseguramiento de la calidad en sus productos. Greenbrier Tlaxcala, filial de The Greenbrier Companies, se especializa en la fabricación de carros de ferrocarril para el mercado nacional e internacional. Parte de sus operaciones requiere el uso de piezas que actualmente son adquiridas a proveedores externos, lo que genera dependencia en tiempos de entrega, costos variables y posibles retrasos en la producción.

Ante este escenario, surge la necesidad de diseñar e implementar una estación de trabajo en la bahía 4 de Plasma City, destinada a la fabricación interna de estas piezas mediante la integración de tres equipos principales: la máquina Beckwood, la sierra cinta y la dobladora. Este proyecto permitirá reducir la dependencia de proveedores, disminuir costos, garantizar mayor control sobre la calidad de los componentes y fomentar la mejora continua en los procesos internos.

El desarrollo del proyecto contempla desde la fase de análisis y diagnóstico inicial, hasta la instalación de equipos, fabricación de piezas piloto, estandarización de procesos y propuestas de mejora, asegurando así una implementación integral que contribuya al crecimiento productivo y competitivo de la empresa.

CAPÍTULO I

GREENBRIER TLAXCALA S. DE R.L DE C.V

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA U ORGANIZACIÓN Y DEL PUESTO O ÁREA DE TRABAJO DEL ESTUDIANTE

Greenbrier Tlaxcala es una filial de The Greenbrier Companies, corporación estadounidense reconocida a nivel mundial por el diseño y fabricación de carros de ferrocarril. La planta se ubica en Ciudad Industrial Xicohténcatl I, en Tetla de la Solidaridad, Tlaxcala, y comenzó operaciones en 2015 con una inversión inicial superior a 630 millones de pesos. Desde entonces, se ha consolidado como uno de los principales centros de producción ferroviaria en México, con capacidad para fabricar diferentes tipos de vagones, entre ellos góndola, tanque, tolva y furgones, destinados principalmente al mercado de exportación hacia Estados Unidos.

La empresa se distingue por su compromiso con la calidad, la seguridad y la innovación en procesos de manufactura, además de generar un importante impacto económico y social en la región al brindar más de 1,200 empleos directos y 500 indirectos. En años recientes, Greenbrier Tlaxcala ha realizado expansiones significativas en su infraestructura, incorporando nuevas naves, equipo especializado y vías ferroviarias internas, lo que fortalece su capacidad productiva. Asimismo, mantiene una estrategia de mejora continúa orientada a la eficiencia, sostenibilidad y satisfacción de sus clientes, consolidándose como un actor clave en la industria ferroviaria a nivel internacional.

The Greenbrier Companies nació en 1919 como una empresa fabricante de acero en Portland, desde entonces, ha evolucionado hasta convertirse en un líder mundial de fabricación en transporte y servicios de carga. Los pilares clave de nuestra identidad y éxito están arraigados en nuestros principios de operación: Seguridad, Calidad, Respeto por las Personas y Compromiso por la Satisfacción del Cliente, los cuales conforman a The Greenbrier Companies en una empresa de clase mundial, consolidada como fabricante de carros de ferrocarril, ocupando uno de los primeros lugares como proveedores de transportación de equipos y servicios de la industria ferroviaria Norteamericana, actualmente desarrollamos operaciones en Europa, México, Canadá y los Estados Unidos. Empleando a más de 10,000 personas.

2.1 Misión y visión

- **Misión**

Producir carros de carga de ferrocarril de calidad que superen las expectativas de nuestros clientes y accionistas, en un ambiente seguro mejorando el entorno y el bienestar de nuestros colaboradores.

- **Visión**

Ser la mejor opción de manufactura de carros de ferrocarril.

2.2 Política de calidad

Greenbrier está comprometido a proporcionar productos y servicios seguros que cumplan con todos los estándares y expectativas del cliente requeridos a través de la mejora continua de nuestro programa de calidad.

2.3 Prioridades de la empresa

- Seguridad
- Calidad
- Respeto a las personas
- Satisfacción del cliente

2.4 Productos de Greenbrier

Descripción	Imagen
El **carro tanque** ferroviario es un tipo de vagón diseñado específicamente para el transporte de líquidos y gases a granel, tales como combustibles, químicos, alimentos líquidos o productos industriales. Su estructura está compuesta por un tanque cilíndrico montado sobre un chasis, fabricado con aceros de alta resistencia para garantizar seguridad y durabilidad.	
El **carro tolva** ferroviario es un tipo de vagón diseñado para el transporte de materiales sólidos a granel, como granos, minerales, carbón o cemento. Su característica principal es la presencia de compartimentos en forma de tolva ubicados en la parte inferior, los cuales permiten una descarga rápida y controlada mediante compuertas.	

El **carro góndola** ferroviario es un vagón abierto de paredes altas diseñado para el transporte de materiales pesados o a granel que no requieren protección contra la intemperie, como chatarra, acero, carbón, piedra o maderas.	

Tabla 1. Productos de Greenbrier

2.5 Ubicación de la empresa

La planta de Greenbrier Tlaxcala se encuentra ubicada en la Ciudad Industrial Xicohténcatl I, en el municipio de Tetla de la Solidaridad, Tlaxcala, una de las zonas industriales más importantes del estado. Esta ubicación estratégica le permite contar con infraestructura adecuada para la operación, disponibilidad de mano de obra calificada y cercanía a vías de comunicación que facilitan tanto el abastecimiento de materias primas como la distribución de productos terminados hacia el mercado nacional e internacional, principalmente a Estados Unidos.



Figura 1. Vista satelital de Greenbrier Tlaxcala

2.6 Organigrama general

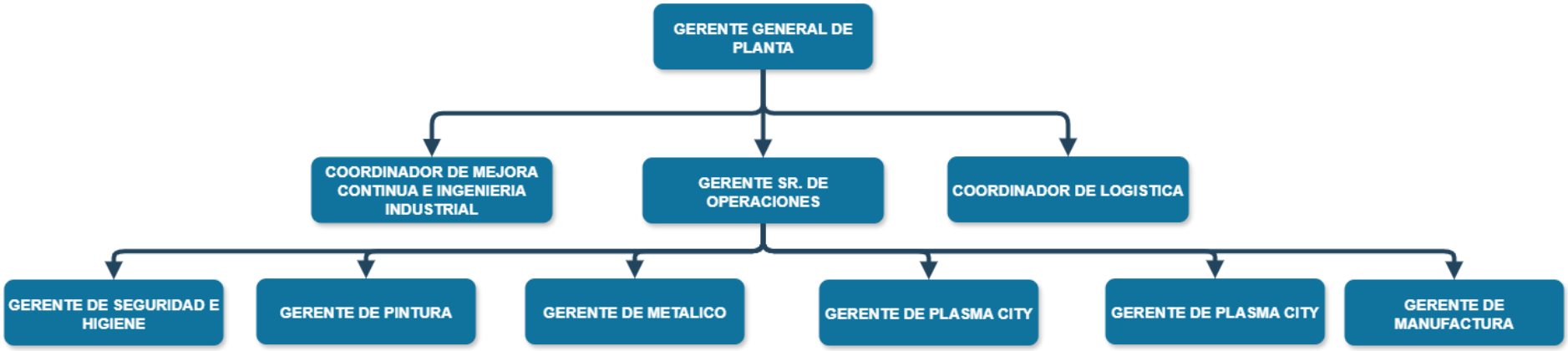


Figura 2. Organigrama de planta

2.7 Organigrama de Mejora continua e Ingeniería Industrial

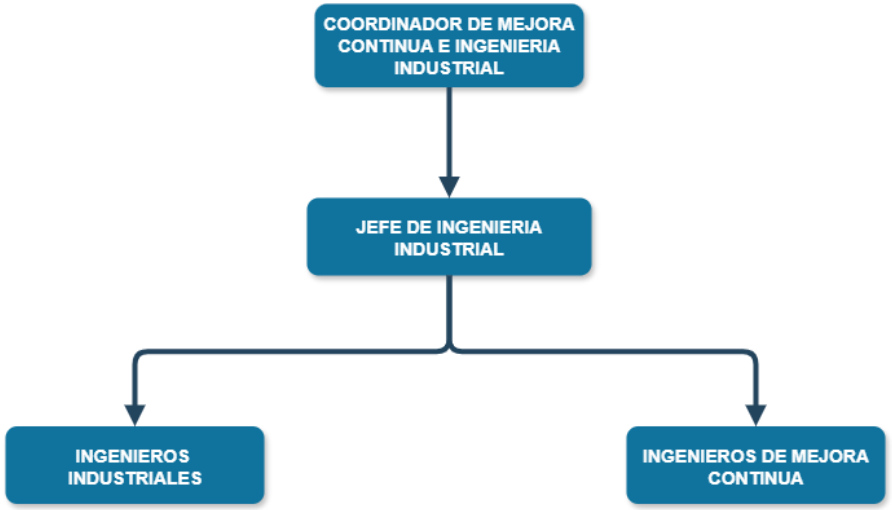


Figura 3. Organigrama de departamento MCII

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

El proyecto se llevará a cabo en la **bahía 4 del área** denominada **Plasma City**, dentro de las instalaciones de **Greenbrier Tlaxcala**. Esta zona forma parte del complejo de manufactura dedicado a procesos de corte, formado y preparación de materiales metálicos que posteriormente se integran en la fabricación de carros de ferrocarril. El área cuenta con la infraestructura necesaria para la instalación de equipos industriales, incluyendo la **máquina Beckwood**, la **sierra cinta** y la **dobladora**, los cuales conformarán la nueva estación de trabajo.

La bahía 4 fue seleccionada estratégicamente por su ubicación cercana a las áreas de corte y ensamble, lo que permitirá optimizar el flujo de materiales, reducir tiempos de traslado y aprovechar las conexiones existentes de energía y aire comprimido. Una vez implementada, la estación de trabajo contribuirá a la fabricación interna de piezas que anteriormente eran adquiridas a proveedores, mejorando el control de producción y reduciendo costos operativos.

El **departamento de Mejora continua e Ingeniería Industrial** tiene un papel fundamental dentro de la organización, ya que se encarga de analizar, optimizar y estandarizar los procesos productivos para garantizar la eficiencia, la seguridad y la calidad en las operaciones. Entre sus principales funciones destacan la identificación de áreas de oportunidad, la implementación de metodologías de mejora como Lean Manufacturing y Six Sigma, el desarrollo de Layout, el estudio de tiempos y movimientos, así como la gestión de proyectos orientados a la reducción de desperdicios y al incremento de la productividad.

Dentro de este contexto, el presente proyecto forma parte de las estrategias del departamento para **incrementar la autosuficiencia productiva** de la planta, **reducir costos de compra externa** y **mejorar la eficiencia operativa**, contribuyendo directamente al fortalecimiento de los indicadores clave de desempeño de Greenbrier Tlaxcala.

4. PROBLEMAS A RESOLVER, PRIORIZÁNDOLOS

1. Alta dependencia de proveedores externos para la fabricación de piezas: Actualmente, diversas piezas necesarias para el proceso de producción se adquieren a proveedores externos.
2. Tiempos de espera y retrasos en la producción por falta de piezas: La dependencia externa ocasiona interrupciones en el flujo productivo cuando las piezas no llegan a tiempo o se presentan errores en las entregas.
3. Espacio de trabajo ineficiente y falta de estandarización en la zona de fabricación: La bahía 4 carece actualmente de una distribución optimizada que permita integrar los equipos de manera ergonómica y segura.
4. Ausencia de procedimientos estandarizados para la fabricación interna: No existen actualmente instrucciones visuales, hojas de proceso ni parámetros definidos para la elaboración de las piezas en planta.
5. Desaprovechamiento de recursos y maquinaria disponible: Algunos equipos industriales, como la máquina Beckwood, permanecían sin uso o subutilizados al no contar con una estación designada.
6. Falta de indicadores para medir desempeño y eficiencia del proceso: No se cuenta con métricas específicas para evaluar los tiempos de ciclo, producción interna, scrap o ahorro económico.

5. OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECIFICO)

Objetivo general:

Diseñar e implementar una estación de trabajo en la bahía 4 de Plasma City en Greenbrier Tlaxcala, que integre la máquina Beckwood, la sierra cinta y la dobladora, con el fin de fabricar internamente piezas actualmente adquiridas a proveedor, reduciendo costos, tiempos de entrega y mejorando el control del proceso.

Objetivos específicos:

- Diseñar y validar el lay out de la estación de trabajo considerando seguridad, ergonomía y flujo de materiales.
- Coordinar el traslado, instalación y puesta en marcha de los equipos (Beckwood, sierra cinta y dobladora).
- Fabricar piezas piloto y estandarizar el proceso mediante hojas de trabajo y análisis de tiempos y movimientos.

6. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto surge de la necesidad de fortalecer la capacidad de manufactura interna de Greenbrier Tlaxcala, mediante el diseño e implementación de una estación de trabajo en la bahía 4, equipada con una máquina Beckwood, una sierra cinta y una dobladora. Actualmente, la planta depende en gran medida de la compra externa de diversas piezas, lo que implica mayores costos, tiempos de entrega prolongados y menor control de calidad. Por ello, el objetivo de este proyecto es crear una estación que permita fabricar internamente las piezas que anteriormente se adquirían a proveedores externos, contribuyendo a la reducción de gastos, la optimización de procesos y la mejora continua del sistema productivo.

En primer lugar, definir el alcance del proyecto resulta esencial, ya que permite establecer los límites, objetivos y entregables de la propuesta, evitando desviaciones y asegurando que los esfuerzos se mantengan enfocados en la instalación y operación de la nueva estación. Posteriormente, el análisis del proceso actual de compra externa de piezas proporciona la información necesaria para identificar los principales problemas, tales como retrasos logísticos, costos elevados y dependencia de proveedores. Este diagnóstico fundamenta la decisión de migrar hacia la manufactura interna.

El análisis costo-beneficio representa una fase crítica, pues permite comparar de forma cuantitativa los costos actuales de adquisición frente a los costos proyectados de fabricación interna. Este análisis financiero justifica la inversión, demostrando la viabilidad económica y el retorno esperado, lo cual sustenta la aprobación del proyecto por parte de la dirección y el departamento de ingeniería industrial.

A continuación, se determinan los requerimientos de la estación, que incluyen especificaciones eléctricas, de espacio, de seguridad y de operación. Este paso garantiza que la estación cumpla con los estándares técnicos y normativos de la empresa. Asimismo, la elaboración del Layout preliminar y su validación por los

departamentos de seguridad e ingeniería permiten definir una distribución óptima de los equipos, asegurando un flujo de trabajo eficiente, seguro y ergonómico.

De manera complementaria, la definición de las áreas auxiliares como las zonas para materia prima, producto terminado, herramientas y piezas no conformes responde a la necesidad de mantener un entorno ordenado, aplicando los principios de las 5S y del flujo continuo. La identificación y gestión de recursos adicionales garantizan la disponibilidad de los elementos necesarios para el correcto funcionamiento de la estación.

Una etapa clave del proyecto es el traslado del equipo Beckwood desde otra planta del grupo, el cual requiere de una planificación detallada para evitar daños y garantizar una instalación adecuada. Previo a su montaje, se lleva a cabo la preparación del área en la bahía 4, donde se adecuan las condiciones físicas, eléctricas y de seguridad necesarias. Posteriormente, la instalación y ubicación de equipos (Beckwood, sierra cinta y dobladora) se realiza siguiendo criterios ergonómicos y de seguridad industrial, verificando las condiciones de operación antes del arranque.

Una vez lista la estación, se procede con la solicitud de personal operativo, asegurando que el área cuente con trabajadores capacitados y competentes para la operación segura de los equipos. Con ello, se fabrican piezas piloto, las cuales permiten verificar la funcionalidad de la estación, realizar ajustes de proceso y validar la calidad de las piezas con el área de QA (Aseguramiento de Calidad).

De igual manera, la elaboración de las Hojas de Trabajo Estándar (HTE) y las Hojas de Empaque (HE) es fundamental para documentar los procedimientos operativos, asegurando la estandarización, trazabilidad y calidad del proceso. Estas herramientas sirven como base para la capacitación del personal y para la mejora de la eficiencia operativa.

Con el fin de optimizar la productividad, se lleva a cabo un estudio de tiempos y movimientos, el cual permite identificar desperdicios, establecer tiempos estándar y determinar oportunidades de mejora. Posteriormente, mediante el diagrama Yamazumi, se realiza un balanceo de cargas de trabajo, buscando equilibrar las tareas y eliminar cuellos de botella dentro del proceso.

Durante la etapa operativa, se identifican las mermas del proceso, que son analizadas y presentadas al Equipo de Soporte Greenbrier (ESG) con el propósito de transparentar los resultados y fomentar la cultura de mejora continua. A partir de este análisis, se diseña un plan para la eliminación de desperdicios, que incluye la gestión de propuestas de mejora y la implementación de acciones correctivas enfocadas en aumentar la eficiencia y reducir los costos de producción.

Finalmente, se realiza la evaluación de los resultados finales, comparando los indicadores obtenidos con los objetivos establecidos en la fase de planeación. Este análisis permite verificar la efectividad del proyecto, cuantificar los beneficios alcanzados como la reducción de costos, mejora en tiempos de entrega y aumento de productividad, además de generar un modelo replicable para futuras estaciones de manufactura interna.

En conjunto, todas las fases descritas justifican la importancia del proyecto, ya que contribuyen directamente al fortalecimiento de la autonomía productiva de Greenbrier Tlaxcala, promueven el uso eficiente de los recursos, impulsan la competitividad de la planta y consolidan la filosofía de mejora continua dentro de sus procesos operativos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

7. MARCO TEÓRICO

7.1 Estación de trabajo y ergonomía

“En la industria el trabajador ejecuta tareas muy especiales. Para la ejecución de estas es necesario, en muchos casos, la adopción de posturas agresivas, así como el manejo y transporte de cargas pesadas, esto obliga a una reacción del sistema músculo esquelético que, en ocasiones, puede resultar en desordenes de tipo físico; lesiones. Para evitar estas lesiones, que no sólo perjudican al trabajador sino también a la empresa pues son causa de absentismo y disminución del desempeño, es necesario diseñar los puestos de trabajo considerando una variable adicional: el hombre. Para tratar de ejecutar el diseño correcto será preciso tener en cuenta consideraciones ergonómicas tales como las que se muestran en la Figura 5.

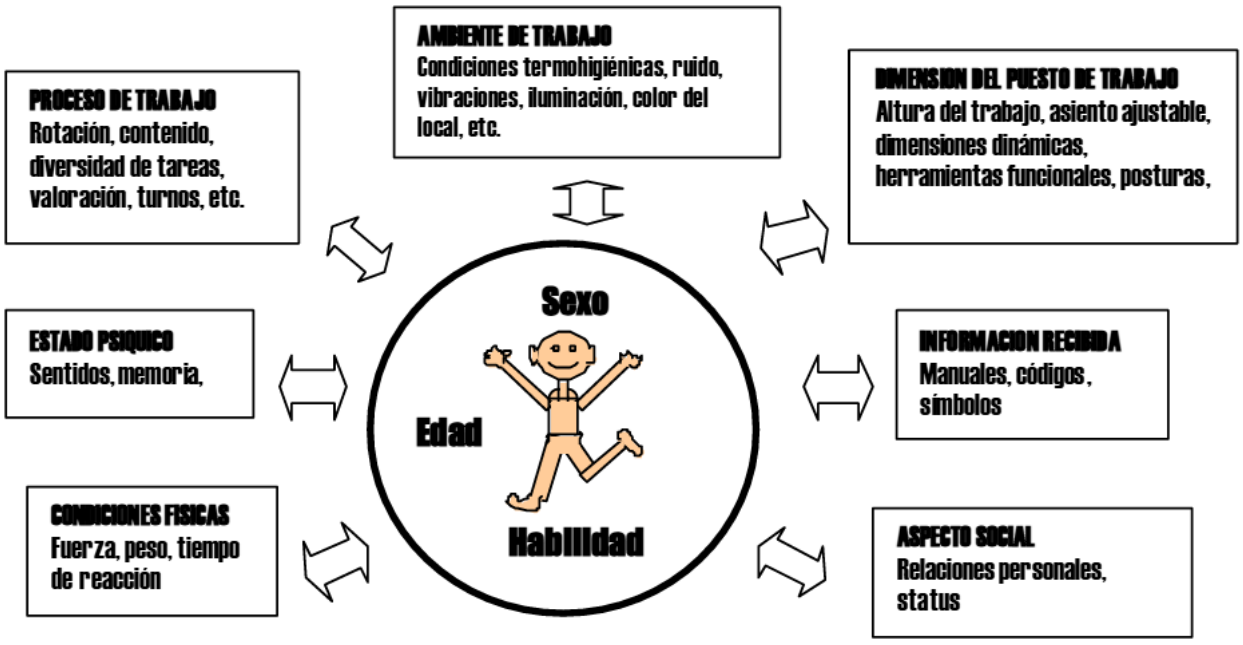


Figura 4. Consideraciones ergonómicas para el análisis de puestos

ANÁLISIS DEL PUESTO DE TRABAJO

Antes de iniciar el diseño del puesto de trabajo será conveniente examinar los siguientes aspectos:

- Métodos de trabajo que existen o existirán en el puesto: Proceso de trabajo.
- Dimensiones del o los usuarios del puesto: Condiciones físicas.
- Posturas, movimientos, tiempos y frecuencias: Dimensión del puesto de trabajo.
- Fuerzas y cadencias que desarrollará el usuario: Condiciones físicas
- Importancia y frecuencia de atención y manipulación de los dispositivos informativos y controles: Información recibida.
- Regímenes de trabajo y descanso, sus tiempos y horarios: Proceso de trabajo.
- Carga mental que exige el puesto: Estado psíquico.
- Riesgos efectivos y riesgos potenciales implicados en el puesto: Ambiente de trabajo.
- Ropas, herramientas y equipos de uso personal: Dimensión del puesto de trabajo.
- Ambientes visual, acústico, térmico, etc. del entorno: Ambiente de trabajo.
- Otros: Aspecto social. Una vez que se tiene conocimiento de los aspectos señalados anteriormente se puede decir que se ha iniciado el proceso que nos conducirá al correcto diseño de la estación de trabajo.

PRINCIPIOS DE DISEÑO

Idear e implementar una estación de trabajo en forma correcta, de manera que evite el riesgo de lesiones y que por el contrario sea seguro, saludable y productivo es una tarea difícil. Para lograr este propósito se debe procurar que el puesto sea tan flexible como sea posible para que pueda adaptarse a diferentes usuarios. Dado que cada uno tiene peso, estatura, fuerza y dimensiones de segmentos corporales diferentes.

A continuación, se presentan once principios para el correcto diseño de la estación de trabajo:

1. Evitar las cargas estáticas y dinámicas

Una carga es estática cuando no implica que el músculo se mueva y, por el contrario, es dinámica cuando el músculo si tiene movimiento, por ejemplo, cuando se sostiene un peso (carga estática) o cuando se levanta o transporta (carga dinámica). En ambos casos estas cargas impuestas obligan al cuerpo a generar una fuerza compensatoria interna para guardar el equilibrio. La distancia entre la fuerza externa y el centro de gravedad del cuerpo se llama palanca; cuanto mayor es la palanca mayor será la resistencia interna, la misma que es impuesta a los ligamentos, tendones y discos de la columna vertebral. El puesto de trabajo muchas veces requiere de la movilidad de cargas por tanto se debe tratar de sostenerla lo más cerca del cuerpo como sea posible (ver Figura 6), asimismo, el efectuar un trabajo industrial requiere, mínimamente, sostener y movilizar una herramienta. Si se considera que además del peso de esta un trabajador debe sostener el peso de su brazo (aproximadamente 4kg) no sólo se recomienda que la herramienta esté cerca del cuerpo sino, mejor aún, si se puede contar con algún elemento auxiliar que ayude a contrarrestar el peso de la herramienta.

2. Evitar las posturas fijas e inadecuadas

Un diseño correcto de la estación de trabajo debe permitir que el usuario pueda adoptar diferentes posturas tanto mejor si puede alternar entre la posición sentada como de pie y en movimiento, pues mantener una de estas posiciones durante largas horas no solo causa fatiga sino también problemas de salud, por ejemplo, el estar de pie produce varices y el estar sentado provoca dolores de espalda. El ancho o profundidad de la estación de trabajo debe permitir que el trabajador pueda extender las piernas y moverlas con comodidad cuando lo necesite. Una mala postura también afecta, así, no conservar una postura erguida sino encorvada generará esfuerzos internos sobre todo en los discos de la columna vertebral lo que provocará lesiones en la espalda.

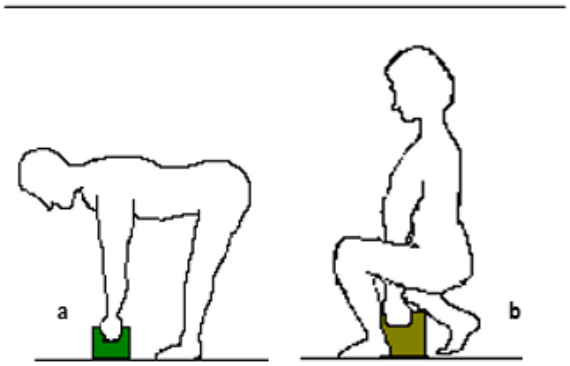


Figura 5. Posiciones incorrectas (a) y correcta (b) para cargar

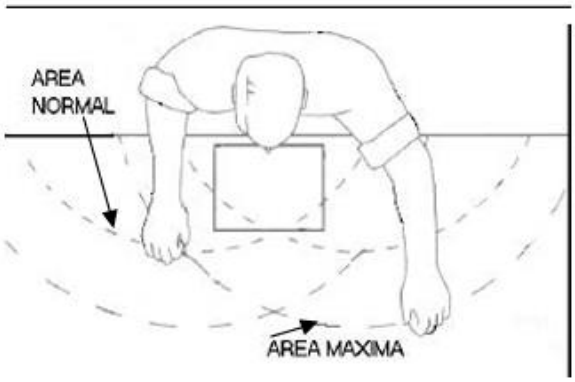


Figura 6. Área normal y máxima de trabajo

3. Diseñar la altura de trabajo en aproximadamente 5 cm bajo el codo

Mantener una altura óptima de trabajo cuando hay diferentes usuarios de la estación de trabajo, puede obtenerse si se considera que la altura de la mesa de trabajo es regulable o cuando se cuenta con taburetes auxiliares, que pueden colocarse en el suelo para compensar la altura de los más pequeños.

4. Procurar que la tarea se desarrolle en el área normal de trabajo

El área normal de trabajo es aquella que se puede generar con el brazo pegado al cuerpo y haciendo girar el antebrazo teniendo como centro el codo (ver Figura 7). Esta es el área recomendada para centrar el trabajo pues existe control visual, la palanca es corta se cuenta con mejor control de los movimientos, es decir, mayor rapidez y precisión.

5. Proporcionar apoyo a los segmentos corporales

Tareas que requieren apoyar codos, antebrazos o muñecas para sostener herramientas o elementos de trabajo deben contar con soportes acojinados que proporcionen comodidad y además ayuden a sostener el peso de los brazos, cuando la tarea requiere que el antebrazo este apoyado, los bordes agudos de la mesa de trabajo causan gran dolor al operador cuando son expuestos a esta postura largo tiempo.

De igual forma, las piernas nunca deben carecer de un apoyo adecuado, si el trabajador está de pie, se recomienda que la superficie este cubierta con tapetes de caucho, corcho o retazos de alfombra a fin de brindar comodidad, asimismo si el trabajador debe estar sentado dependiendo de la altura del trabajo las piernas podrían quedar colgando sin tocar el piso, esto debe arreglarse proporcionando un apoyo que puede ser un objeto por separado, formar parte de la estación de trabajo o estar unido a la silla.

6. Proporcionar una silla ajustable

Cuando se incorpora una silla a la estación de trabajo hay que tener en cuenta que esta debe poder ajustarse a los diferentes tipos de usuarios es decir debe poder regularse la altura del asiento, el respaldar debe poder moverse vertical y horizontalmente; el movimiento vertical a fin de proporcionar un apoyo a la región lumbar del usuario, el segundo para que avance o retroceda según la espalda lo hace.

7. Proporcionar ropa y calzado apropiados, así como accesorios de seguridad

La ropa y el calzado son accesorios importantes cuando se observa un puesto de trabajo por ejemplo en un trabajo de pie se debe contar con un calzado que no sólo permita la estabilidad sino la comodidad de los pies para retardar la fatiga, en el caso de trabajar con máquinas se recomienda trabajar con prendas de manga corta que eviten el ser atrapado por la máquina.

8. Evitar tareas repetitivas

Al analizar el contenido de trabajo y detectar operaciones cortas y repetitivas, éstas deben corregirse inmediatamente, pues, son causas de desórdenes de trauma acumulado (DTA) que son lesiones que ocurren principalmente en las muñecas, hombros y región lumbar causadas por acciones repetitivas y sobreesfuerzos, estas lesiones son graves pues inhabilitan al trabajador de continuar con sus labores, en ocasiones como en el caso de la lesión en las muñecas pueden perder la capacidad de aprehensión de la mano.

9. Establecer lugares fijos para materiales y herramientas

Realizar una tarea exige 1) planeación y 2) ejecución, para reducir el tiempo de la primera será conveniente que el trabajador conozca y tenga sus materiales y equipo a utilizar en un lugar fijo, de esta manera la ejecución de sus movimientos también será más rápida pues sabrá exactamente la posición donde encontrará tal o cual herramienta.

10. Proporcionar dispositivos informativos de control adecuados

Para diseñar o seleccionar un dispositivo informativo o de control hay que tener en cuenta el tipo de información que se ha de recibir, la importancia de los posibles errores y sus consecuencias, la frecuencia y el tiempo disponible de reacción, las posibles interferencias, la altura adecuada y el tamaño de manera que sean de fácil lectura y compresión por el trabajador, entre otros.

11. Seleccionar y distribuir los controles para que ninguna extremidad se sobrecargue"[1]

"En la actualidad, el implementar la ergonomía para el diseño y rediseño de las estaciones se ha convertido en una ventaja competitiva ya que a través de la realización de estudios se puede identificar el nivel de riesgo de las tareas, la información obtenida es estratégica en el diseño de los planes de mejoramiento de seguridad, adicional de la economía de movimientos y de tiempos en la realización de la tarea, que directamente impactan en la productividad. Para Laville ergonomía es una disciplina científica que estudia el funcionamiento del hombre en actividad laboral: es una tecnología que agrupa y organiza los conocimientos de forma que resulten utilizables para la concepción de medios de trabajo. Priorizar la eliminación de factores que se oponen a un trabajo de calidad, seguro y productivo mediante el ajuste de tareas, aspectos físicos y medio ambiente de los lugares de trabajo es como tal el principal objetivo a cumplir al hablar de ergonomía.

[1] Párraga V., M., (2003). Diseño correcto de la estación de trabajo. Industrial Data, 6(1), 95-98.

Para el Congreso Internacional de Ergonomía, el objeto de la ergonomía es elaborar con el concurso de las diversas disciplinas científicas que la componen un cuerpo de conocimientos que, con la perspectiva de aplicación, debe desembocar en una mejor adaptación del hombre de los medios tecnológicos de producción y de los entornos de trabajo.

Se calcula que en el mundo se producen cerca de 2,02 millones de muertes debido a enfermedades provocadas por trabajo como consecuencia de las innovaciones técnicas y de los cambios sociales, la industrialización a nivel global es uno de los factores por la que están surgiendo nuevos riesgos profesionales cuando se introducen dichos cambios tecnológicos, ya que a menudo no se acompañan de medidas de prevención contra riesgos conocidos en materia de seguridad y salud en el trabajo. En México el 38 % de las enfermedades laborales se debe a los trastornos musculoesqueléticos, además de los riesgos tradicionalmente relacionados con el lugar de trabajo.

Es entonces relevante que en las empresas se identifiquen los factores de riesgo de cada puesto para realizar acciones preventivas y asegurar en el trabajador una salud ocupacional. Los factores de riesgo ergonómico son aquellos que pueden conllevar sobre esfuerzo físico movimientos repetitivos o posturas forzadas en el trabajo desarrollado, con la consecuente fatiga, errores, Accidentes y Enfermedades de Trabajo derivados del diseño de las instalaciones, maquinaria, equipo, herramientas o puesto de trabajo.” [2]

[2] Rodríguez, H. G. (2017). *Rediseño de una estación de trabajo considerando la ergonomía para incrementar la productividad*. Universidad de Guanajuato. Recuperado de: http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/3375

7.2 Distribución de planta (Layout)

“La palabra Layout sirve para hacer referencia a la manera en que están distribuidos los elementos y las formas dentro de un diseño. Es un vocablo del idioma inglés que no forma parte del diccionario de la Real Academia Española. Se traduce al español como '**disposición**', 'plan' o 'diseño'.

Se dice que el Layout es la representación de un plano sobre el cual se va a dibujar la distribución de un espacio específico o determinado.

El Layout puede tomarse como base para una página web, pues es a partir ese plan o diseño que esta se irá a desarrollar. Dicho de otro modo, el producto inicial de una página o sitio web es su Layout, plantilla o diseño.

Por esto se dice que la plantilla de diseño que sirve para elaborar, predeterminar y desarrollar un sitio o página web se le llama Layout. Este Layout es un plan o esquema genérico, el cual es presentado por el diseñador al cliente para su aprobación, modificación o rechazo.

El vocablo es utilizado en el área del marketing, y del marketing digital. Presenta el diseño o la disposición de productos y servicios en sitios o puntos de venta de una empresa, consorcio o comercio en particular.

Por su parte, en el procesamiento de textos y autoedición, el Layout sirve para que el diseñador logre combinar la disposición de textos y gráficos en un mismo ambiente.

En un documento también es importante determinar si se enfatiza o focaliza más en determinados puntos o áreas y para determinar si el documento es estética o visualmente agradable para el usuario.

Por ello, aunque existan programas para esta tarea que pueden ser de utilidad en la labor del diseño de documentos, estos aún no logran sustituir el trabajo de un diseñador profesional.

Layout en diseño gráfico

La palabra Layout también es usada en el área del diseño gráfico para explicar el croquis, esquema o el bosquejo de distribución de un diseño específico. El objetivo del Layout es que el cliente pueda observar de manera más clara una aproximación de la versión final de lo que podría estar comprando. La finalidad, pues, es venderle esa opción y concretar el negocio, que será ejecutado conforme al bosquejo presentado.

El Layout siempre estará sujeto a modificaciones hasta el momento de su aprobación definitiva. Es por esto por lo que cualquier diseñador de páginas web siempre presenta a sus clientes un Layout para que este analice si se adapta o no a sus necesidades y exigencias y si le agrada la forma de presentación de la información al público.

Es a partir del Layout aprobado por el cliente que comienza el desarrollo de la página web y la introducción de su contenido.

Layout en el área empresarial

En el área empresarial, podemos decir que el término es utilizado para hacer referencia a la forma en que se encuentra distribuida el área de trabajo. Es decir, el diseño que se siguió para distribuir las computadoras, mesas de trabajo, áreas de reuniones, espacios para recreación y descanso, así como los comedores y baños o áreas de aseo.

En este ámbito, pues, el Layout, tiene que ver con el diseño de la propia oficina o empresa y la forma en que esta se encuentra está distribuida en sus distintas áreas."[3]

[3] Significados, Equipo (29/12/2023). "Layout". En: *Significados.com*. Recuperado de: https://www.significados.com/layout/

7.3 Manufactura interna vs compra externa

“La decisión de manufacturar internamente o comprar externamente es una elección estratégica en la que una empresa analiza si debe producir un bien o componente dentro de sus instalaciones o adquirirlo de un proveedor externo. Este análisis considera no solo los costos directos, sino también factores de control, calidad, capacidad, conocimiento interno, volumen de producción, inversión de capital, entre otros”.[4]

Factores clave

“Algunos de los factores más importantes que deben considerarse al evaluar esta decisión incluyen:

- **Costos relevantes:** Cuando se hace internamente, se deben considerar materiales directos, mano de obra, costos indirectos variables, y la porción de costos fijos evitables si aplica. Cuando se compra, se consideran el precio de compra, transporte, recepción, inspección, inventario y otros costos asociados.
- **Capacidad y recursos internos:** Si la empresa ya posee capacidad ociosa, experiencia, equipamiento y personal, manufacturar internamente puede ser más viable.
- **Volumen de producción:** Volúmenes altos favorecen la manufactura interna por economías de escala; volúmenes bajos pueden hacer que comprar externamente sea más rentable.
- **Control, calidad y competencias esenciales:** Si el componente es estratégico, requiere alta calidad, o implica propiedad intelectual, la opción interna puede ofrecer ventajas de control.
- **Flexibilidad y especialización del proveedor:** Si existe un proveedor externo eficiente, con costos bajos, altos volúmenes y buena calidad, puede favorecer la opción de compra.

[4] Hansen, Z. (2010, November 17). *What is a make-or-buy decision?* Investopedia. Recuperado de: https://www.investopedia.com/terms/m/make-or-buy-decision.asp

- **Riesgos y cambios de mercado:** Las empresas deben reevaluar la decisión cuando cambian las condiciones de mercado, tecnología, demanda o competencia.

Ventajas y desventajas de cada opción

Manufactura interna:

- Ventajas: mayor control sobre calidad, tiempos de entrega, personalización, utilización de capacidad existente.
- Desventajas: requiere inversión inicial (equipos, espacio, capacitación), puede tener costos fijos altos, y el riesgo si la demanda baja.

Compra externa:

- Ventajas: menor inversión inicial, posibilidad de aprovechar la especialización del proveedor, menos carga operativa.
- Desventajas: menor control sobre calidad, dependencia de proveedor, riesgo de interrupciones o cambios de precio, menor flexibilidad en cambios rápidos.

Criterios de decisión

Algunos criterios que las empresas suelen usar para decidir “make” o “buy” incluyen:

- ¿Es más barato fabricar internamente que comprar?
- ¿La empresa tiene la capacidad, recursos y competencia para fabricar internamente?
- ¿El componente es estratégicamente importante para la empresa, por lo que se prefiere control interno?
- ¿El mercado de proveedores es limitado o poco confiable?”[5]

[5] Accountingverse. (2022, April). *Make or buy decision.* Recuperado de: https://www.accountingverse.com/managerial-accounting/relevant-costing/make-or-buy.html

7.4 Mejora continúa

“La mejora continua es un enfoque sistemático y permanente mediante el cual una organización busca **elevar la calidad de sus productos, optimizar sus procesos, reducir desperdicios y aumentar la competitividad**, involucrando a todos los niveles de la empresa. En el contexto de manufactura, esto refleja una cultura donde no se trata simplemente de mantener el status quo, sino de evolucionar con pequeñas mejoras constantes, muchas veces bajo metodologías como Kaizen, Lean Manufacturing o Six Sigma. Por ejemplo, un estudio observa que en entornos lean, cuando los empleados ignoran los cambios en los procedimientos estándar (SOP), las iniciativas de mejora continua pierden su eficacia.

Factores clave

- Cultura organizacional: para que la mejora continua sea efectiva, debe existir un entorno en donde los colaboradores estén comprometidos, participen y tengan incentivos para seguir los nuevos procedimientos.
- Herramientas y metodologías: 5S, Kaizen, PDCA (Plan-Do-Check-Act) y otros métodos son frecuentemente citados como componentes claves para la mejora continua.
- Enfoque en procesos y producción: Por ejemplo, investigaciones han mostrado que la implementación de principios lean en manufactura reduce inventarios internos, tiempos de ciclo y mejora el flujo productivo.
- Riesgos de fracaso: A pesar de los beneficios, las iniciativas de mejora continua tienen una tasa de fracaso alta si no se manejan bien los factores humanos, la gestión del proyecto, el liderazgo y la estructura de apoyo.

Ventajas y desventajas

Ventajas:

- Mejor performance de planta: menos desperdicio, menor tiempo de ciclo, mayor eficiencia operativa.
- Mejora de la calidad del producto y del servicio al cliente.
- Empowerment del personal, lo que favorece la innovación continua.

Desventajas / desafíos:

- Requiere cambio cultural y compromiso de todos los niveles.
- Puede implicar tiempo y esfuerzo para instaurar nuevas prácticas.
- Si no se hace seguimiento adecuado, los cambios pueden perderse o revertirse.[6]

7.5 Estudio de tiempos y movimientos

"El proceso sistemático para desarrollar el centro de trabajo eficiente es el establecimiento de estándares de tiempo. Éstos pueden determinarse mediante el uso de estimaciones, registros históricos y procedimientos de medición del trabajo. En el pasado, los analistas confiaban más en las estimaciones como un medio de establecer estándares. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que ningún individuo puede establecer estándares consistentes y justos sólo con ver un trabajo y juzgar el tiempo requerido para terminarlo.

[6] Alhmiari, A. M. A. A., & Albaheery, A. A. M. S. (2020). *The impact of applying lean manufacturing fundamentals on the improvement of manufacturing performance: A case study at the Yemeni National Company for Sponge and Plastic Industry.* Management & Economics Research Journal, 2(5), 21-38. https://doi.org/10.48100/merj.vi.138

Con el método de registros históricos, los estándares de producción se basan en los registros de trabajos similares, realizados anteriormente. En la práctica diaria, el trabajador perfora una tarjeta en un reloj o dispositivo recolector de datos cada vez que inicia un nuevo trabajo y la perfora otra vez después de terminar el trabajo. Esta técnica indica cuánto tiempo tomó en realidad realizar un trabajo, pero no cuánto debió haber tardado. Algunos trabajos incluyen retrasos personales, inevitables y evitables en un grado mucho mayor que lo que deben, mientras que otros no incluyen proporciones adecuadas de tiempos de retraso. Los datos históricos contienen desviaciones consistentes hasta de 50% en la misma operación del mismo trabajo.

Cualquiera de las técnicas de medición del trabajo —estudio de tiempos con cronómetro (electrónico o mecánico), sistemas de tiempo predeterminado, datos estándar, fórmulas de tiempos o estudios de muestreo del trabajo— representa una mejor forma de establecer estándares de producción justos. Todas estas técnicas se basan en el establecimiento de estándares de tiempo permitido para realizar una tarea dada, con los suplementos u holguras por fatiga y por retrasos personales e inevitables.

Los estándares de tiempo establecidos con precisión hacen posible incrementar la eficiencia del equipo y el personal operativo, mientras que los estándares mal establecidos, aunque es mejor tenerlos que no tener estándares, conducen a costos altos, inconformidades del personal y posiblemente fallas de toda la empresa. Esto puede significar la diferencia entre el éxito y el fracaso de un negocio”[7]

[7] Nievel, B., Freivalds A. (2009). ingeniería Industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo. México, D.F.: McGRAW-HILL.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

8. DESARROLLO DEL PROYECTO

8.1 Alcance del proyecto

El presente proyecto comprende el diseño e implementación integral de una estación de trabajo en la bahía 4 de Plasma City, dentro de la planta Greenbrier Tlaxcala, con el objetivo de fortalecer la capacidad de manufactura interna de la empresa y diversificar su producción. La estación estará conformada por tres equipos principales: una máquina Beckwood, una cinta sierra y una dobladora, los cuales permitirán ejecutar operaciones de corte, conformado y doblado de componentes metálicos empleados en la fabricación de vagones ferroviarios.

El alcance del proyecto abarca desde la planificación, traslado, instalación y validación de los equipos, hasta la puesta en marcha productiva con piezas piloto y su posterior validación por el área de Aseguramiento de Calidad (QA). Asimismo, se incluye el desarrollo de Layout, definición de áreas auxiliares (materia prima, producto terminado, producto no conforme y herramentales), elaboración de hojas de trabajo estándar (HTE) y hojas de empaque (HE), así como la ejecución de estudios de tiempos y movimientos, balanceo de cargas y la identificación de mermas del proceso.

Además, el proyecto contempla la capacitación y asignación del personal operativo, la evaluación de resultados productivos, y la implementación de mejoras continúas derivadas del análisis de eficiencia y desperdicio. De forma complementaria, esta estación no solo tendrá como finalidad la fabricación interna de piezas que actualmente son adquiridas a proveedores externos, sino que también se habilitará para la producción de componentes destinados a la venta a una empresa hermana, ampliando la capacidad de negocio y aprovechando el potencial de manufactura del sitio.

El alcance no incluye la adquisición de nueva maquinaria, modificaciones estructurales mayores en la nave ni el desarrollo de productos fuera del portafolio actual de Greenbrier.

El enfoque se centra exclusivamente en el diseño funcional, instalación, estandarización y optimización operativa de la estación Beckwood y sus equipos complementarios, garantizando su integración segura y eficiente al flujo productivo de la planta.

8.2 Proceso actual

En la actualidad, Greenbrier Tlaxcala no fabrica internamente ciertas piezas metálicas que forman parte de los subconjuntos estructurales utilizados en la producción de carros tanque, góndolas y tolvas. Dichos componentes son adquiridos directamente a proveedores externos, quienes se encargan del corte, conformado y doblado del material, así como de su entrega a planta. Este esquema genera una fuerte dependencia de los proveedores, lo que limita la autonomía productiva y ocasiona demoras en los tiempos de entrega, especialmente cuando existen retrasos logísticos o variaciones en la disponibilidad del proveedor.

El proceso actual inicia con la solicitud de compra por parte del área de ingeniería o producción, seguida de la cotización, aprobación y emisión de la orden de compra. Una vez confirmada, el proveedor realiza la manufactura de las piezas y las envía a la planta, donde se realiza la recepción, inspección y almacenamiento del material. En caso de detectarse desviaciones dimensionales o defectos de calidad, las piezas deben ser reprocesadas o devueltas, generando costos adicionales y pérdida de tiempo productivo.

Además, este modelo de trabajo implica un costo unitario más elevado, ya que se incluye el margen de ganancia del proveedor, el transporte y los costos indirectos asociados. A ello se suma la falta de flexibilidad para realizar modificaciones rápidas en los diseños o responder a incrementos de demanda, debido a la necesidad de depender de los tiempos de fabricación externa.

Actualmente, Greenbrier Tlaxcala cuenta con el espacio físico y el personal técnico que permitirían realizar estas operaciones de manera interna, sin embargo, no dispone aún de la infraestructura completa ni del equipamiento necesario para ejecutar el proceso de corte, conformado y doblado de manera integrada. Esta carencia representa una oportunidad de mejora significativa, la cual se busca atender mediante el diseño e implementación de la estación de trabajo Beckwood, con el propósito de internalizar la manufactura, reducir costos, mejorar la calidad y aumentar la capacidad de respuesta ante los requerimientos del cliente.

8.3 Análisis costo - beneficio

El análisis costo–beneficio tiene como propósito **evaluar la viabilidad económica** del proyecto de implementación de la estación de trabajo Beckwood, considerando tanto los costos asociados a la instalación y operación interna, como los beneficios derivados de la reducción de compras externas y la posible generación de ingresos por la venta de piezas a otra empresa hermana.

En la situación actual, la empresa **adquiere piezas metálicas a proveedores externos**, incurriendo en costos que incluyen materia prima, mano de obra indirecta, transporte y márgenes de ganancia del proveedor. Este esquema genera una dependencia económica significativa, además de limitar la capacidad de respuesta ante variaciones en la demanda o requerimientos de diseño.

Con la implementación de la estación de trabajo, se busca **internalizar la fabricación** de dichas piezas, aprovechando el equipo Beckwood, la sierra cinta y la dobladora. Esta acción permitirá disminuir el costo unitario de producción al eliminar intermediarios, optimizar los recursos internos y reducir los tiempos de entrega. Adicionalmente, la estación generará un **beneficio adicional** al producir componentes destinados a la venta hacia otra planta del grupo Greenbrier, contribuyendo a la recuperación de la inversión y fortaleciendo la rentabilidad del área productiva.

- **Costos compra con proveedor**

COSTO DE COMPRA DE RING ASSY- HATCH, 20 INCH CON PROVEEDOR				
Diseño	Descripción	Piezas x car set	Costo unitario	Costo Car set
A21717	RING ASSY-HATCH	10	$ 1,250.00	$ 12,500.00

Tabla 2. Costos de RING ASSY-HATCH CON PROVEEDOR

COSTO DE COMPRA DE GUARDARRAIL CON PROVEEDOR				
Diseño	Descripción	Piezas x car set	Costo unitario	Costo Car set
A10017050	END HANDRAIL ASSEMBLY	1	$ 200.00	$ 200.00
A10016894	GUARDRAIL ASSEMBLY (20'-10 11/16")	2	$ 230.00	$ 460.00
A10016896	GUARDRAIL ASSEMBLY (23'-10 15/16")	2	$ 190.00	$ 380.00
A10016907	TOP HANDRAIL ASSEMBLY, SHORT	1	$ 220.00	$ 220.00
A10016908	TOP HANDRAIL ASSEMBLY, LONG	1	$ 240.00	$ 240.00

Tabla 3. Costos de guardarraíl con proveedor

- **Costos de fabricación interna**

PARTES PRIMARIAS RING ASSY-HATCH											
Diseño	**DESCRIPCIÓN**	**Perímetro (Pulg)**	**Cantidad**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**Costo P1**	**Costo P2**	**Costo P3, P4**	**Costo Total**
107044-02	RING- HATCH, 20 INCH	134.42	1	Cortetina	Rolado	Soldadura de ranura	Ponchado	$ 45.48	$ 93.05	$ 49.06	$ 187.6
107050-01	LUG- HATCH HINGE	18.01	2	Cortetina				$ 6.10			$ 6.10
107051-01	BRACKET-HATCH HOLD DOWN	9.83	2	Cortetina				$ 3.33			$ 3.33
				Costo total partes primarias						$ 197.02	

Tabla 4. Costo de fabricación de partes primarias RING ASSY-HATCH

Soldadura de RING ASSY- HATCH, 20 INCHES							
Diseño	Descripción	Tiempo de ciclo	No. personas	Costo	Costo total	Piezas x car set	Costo Car set
A21717	RING ASSY-HATCH, 20 INCH	5.20	4	$ 175.95	$ 372.97	10	$ 3,729.71

Tabla 5. Costo de soldadura de RING ASSY-HATCH

Ensambles guardarraíl										
Diseño	**Descripción**	**Car set**	**P1**	**P2**	**P3**	**Costo P1**	**Costo P2**	**Costo P3**	**Costo Total**	**Costo total x car set**
A10017050	END HANDRAIL ASSEMBLY	1	Sierra cinta	Ponchado	Doblado	$ 12.69	$ 25.38	$ 45.68	$ 83.75	$ 83.75
A10016894	GUARDRAIL ASSEMBLY (20'-10 11/16")	2	Sierra cinta	Ponchado		$ 13.96	$ 28.76		$ 42.72	$ 85.44
A10016896	GUARDRAIL ASSEMBLY (23'-10 15/16")	2	Sierra cinta	Ponchado		$ 13.32	$ 32.14		$ 45.47	$ 90.94
A10016907	TOP HANDRAIL ASSEMBLY, SHORT	1	Sierra cinta	Ponchado	Doblado	$ 12.69	$ 33.84	$ 52.45	$ 98.97	$ 98.97
A10016908	TOP HANDRAIL ASSEMBLY, LONG	1	Sierra cinta	Ponchado	Doblado	$ 14.59	$ 33.84	$ 53.29	$ 101.72	$ 101.72

Tabla 6. Costos de fabricación interna de guardarraíl

- **Análisis costos-beneficio general**

Diseño	Descripción	Costo interno ($)	Costo proveedor ($)	Ahorro unitario ($)	% Ahorro	Piezas por car set	Ahorro por car set ($)
A21717	RING ASSY–HATCH, 20 INCH	372.97	1,250.00	877.03	70.20%	10	8,770.30
A10017050	END HANDRAIL ASSEMBLY	83.75	200	116.25	58.10%	1	116.25
A10016894	GUARDRAIL ASSY (20'-10 11/16")	85.44	230	144.56	62.90%	2	289.12
A10016896	GUARDRAIL ASSY (23'-10 15/16")	90.94	190	99.06	52.10%	2	198.12
A10016907	TOP HANDRAIL ASSY, SHORT	98.97	220	121.03	55.00%	1	121.03
A10016908	TOP HANDRAIL ASSY, LONG	101.72	240	138.28	57.60%	1	138.28

Tabla 7. Análisis costo beneficio general

- **Resumen de ahorros por car set**

Diseños	Total, de ahorro ($)
RING ASSY–HATCH	8,770.30
Conjunto de guardarraíles	862.8
Ahorro total general	9,633.10

Tabla 8. Resumen de ahorros por car set

- **Resumen general**

Indicador	Resultado
Costo total interno (car set)	4,933.73
Costo total con proveedor (car set)	14566.83
Ahorro total ($)	9,633.10
Porcentaje de ahorro global	**66%**

Tabla 9. Resumen general de ahorros

Con los datos obtenidos, el proyecto muestra una alta rentabilidad. Fabricar internamente las piezas analizadas genera un ahorro total de $9,633.10 por cada car set, equivalente a un 66.1 % de reducción en los costos respecto a la compra con proveedor.

Los resultados confirman que:

- El proyecto recupera rápidamente la inversión en la nueva estación de trabajo.
- Mejora el control operativo y la disponibilidad de componentes críticos.
- Contribuye significativamente a la eficiencia económica y la autosuficiencia productiva de la planta.

8.4 Aprobación del proyecto

La aprobación del proyecto se llevó a cabo mediante una presentación formal al equipo directivo y a las áreas involucradas, en la cual se expusieron los objetivos, alcances, costos y beneficios esperados de la implementación de la estación de trabajo en la bahía 4.

Durante la reunión se presentó el análisis costo - beneficio, demostrando los ahorros económicos obtenidos al fabricar internamente las piezas en comparación con la compra al proveedor, así como los beneficios adicionales derivados de la reducción de tiempos de entrega, mayor control de calidad y la posibilidad de fabricar piezas para otras plantas del grupo.

Tras la exposición de resultados, los responsables de las áreas de Ingeniería Industrial, Mejora Continua y Gerencia de Planta evaluaron la viabilidad del proyecto y otorgaron el visto bueno para su ejecución. Dicha aprobación permitió iniciar las siguientes etapas del desarrollo, incluyendo la adecuación del área, la instalación de los equipos y la posterior validación de las piezas piloto.

8.5 Requerimientos de la estación

Para la correcta operación de la estación de trabajo destinada a la fabricación interna de piezas metálicas, se definieron los requerimientos de infraestructura y requerimientos de equipos y herramientas necesarios para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente del área.

La estación estará conformada por tres equipos principales: cinta sierra, dobladora y prensa Beckwood, los cuales trabajarán de manera complementaria dentro del área designada en la bahía 4 de *Plasma City*.

1. Requerimientos de infraestructura

La estación requiere un área libre y nivelada de aproximadamente 60 m², con piso de concreto reforzado para soportar el peso de los equipos y facilitar su anclaje. Es indispensable contar con una iluminación adecuada, ventilación suficiente y delimitación física que separe las zonas de tránsito peatonal de las de trabajo. Asimismo, el área debe contar con alimentación eléctrica trifásica de 220 V, tableros de control, protecciones, y paros de emergencia. Se requerirá también una línea de aire comprimido para herramientas neumáticas y mantenimiento, así como puntos de conexión accesibles y señalización de seguridad visible.

2. Requerimientos de equipos y herramientas

La estación estará compuesta por los siguientes equipos:

- Cinta sierra: para el corte de material según las dimensiones requeridas en los diseños.
- Dobladora: utilizada para dar forma a componentes metálicos con precisión en sus radios de curvatura.
- Prensa Beckwood: destinada a operaciones de formado y punzonado de piezas estructurales.

Complementariamente, se requiere:

- Herramientas manuales: llaves, calibradores, escuadras, reglas y flexómetros.
- Instrumentos de medición: vernier, micrómetro y plantillas de inspección.
- Dispositivos de sujeción y mesas de trabajo para el soporte de material.
- Equipos de seguridad: guantes anticorte, caretas, extintores y señalización preventiva.

8.6 Layout preliminar

El Layout preliminar de la estación de trabajo fue diseñado con el propósito de garantizar un flujo de materiales eficiente, una adecuada ergonomía para el personal operativo y la integración funcional de los equipos que conforman el proceso de fabricación interna.

El diseño considera la disposición estratégica de cada elemento con el fin de minimizar desplazamientos, optimizar tiempos de ciclo y mantener condiciones seguras durante la operación. A continuación, se describen los componentes principales del área:

- Sierra: ubicada en la zona derecha del área de trabajo, constituye el punto inicial del proceso. Se complementa con una banda transportadora que facilita el traslado del material cortado hacia las etapas subsecuentes, reduciendo el esfuerzo físico y el tiempo de manipulación.
- Racks de materia prima y salida: colocados próximos a la sierra, permiten un flujo ordenado y continuo del material desde su almacenamiento hasta el procesamiento, asegurando un manejo eficiente del inventario en proceso.
- Prensa Beckwood: se localiza en una posición central dentro del Layout, al ser el equipo principal del proceso. Su ubicación facilita la alimentación y descarga de material desde ambos lados, promoviendo la continuidad del flujo productivo y la reducción de tiempos muertos.

- Dobladora: posicionada al lado izquierdo del área, cercana a los burros de doblado, lo cual favorece la ejecución de operaciones de preformado con un mínimo desplazamiento del operario y del material.
- Burros para pulir: dispuestos en la parte final del flujo, donde se realizan las operaciones de acabado superficial, garantizando que las piezas cumplan con los requisitos de calidad establecidos.
- Rack de materia prima (MP): ubicado estratégicamente para facilitar el abastecimiento a las estaciones de trabajo, sin interferir con las rutas de tránsito de materiales procesados.
- Tarimas de producto terminado: situadas al frente del área de trabajo, destinadas a la recepción del producto final, lo que facilita su inspección y traslado al área de embarque o almacenamiento temporal.

El diseño propuesto mantiene un flujo unidireccional desde la entrada de materia prima hasta la salida de producto terminado, eliminando cruces de materiales y desplazamientos innecesarios. Además, la distribución garantiza condiciones de seguridad, accesibilidad y orden, cumpliendo con los principios de eficiencia y ergonomía industrial.

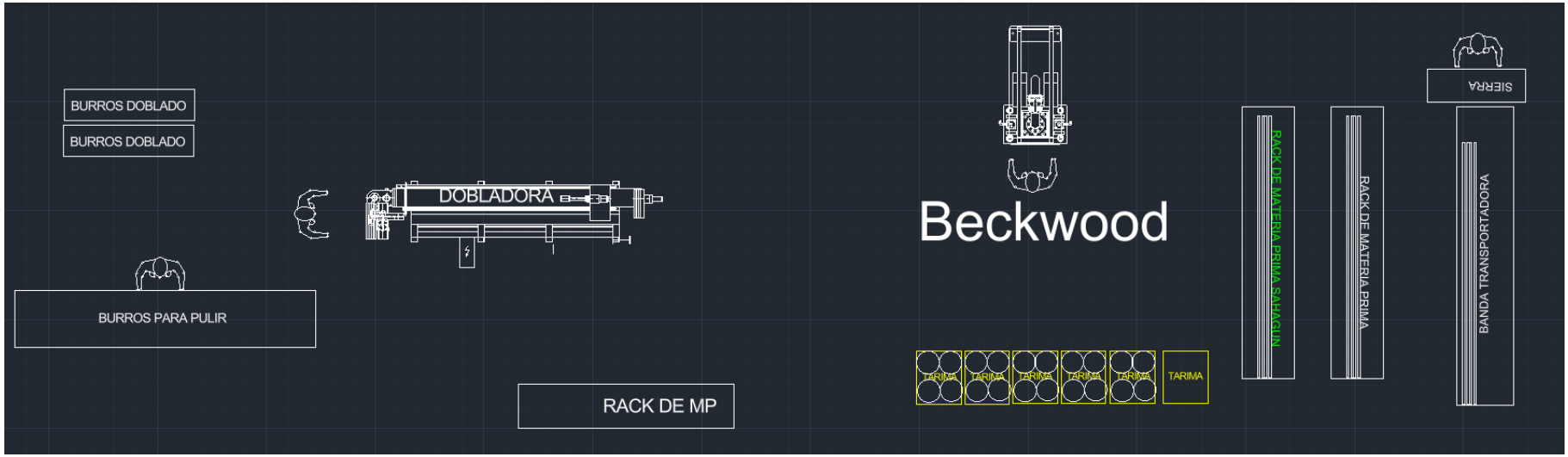


Figura 7. Layout preliminar estación de trabajo Beckwood

8.6.1 Validación de Layout por departamento de seguridad e ingeniería

El Layout preliminar de la estación de trabajo fue sometido a revisión por los departamentos de Seguridad e Ingeniería con el propósito de garantizar que el diseño propuesto cumpliera con los estándares internos de seguridad industrial, ergonomía y eficiencia operativa.

Durante el proceso de validación, se evaluaron factores como la correcta distribución del espacio, la accesibilidad del personal, la ubicación de los equipos principales y auxiliares, las distancias mínimas de seguridad entre maquinaria, así como las rutas de entrada, salida y evacuación del área.

Una vez revisado, ambos departamentos emitieron su aprobación formal sin observaciones críticas, confirmando que el diseño propuesto cumple con las condiciones necesarias para operar de forma segura y eficiente. Esta aprobación se encuentra respaldada mediante la firma de los responsables de cada área en el Layout, el cual se anexa a continuación como evidencia del proceso de validación.

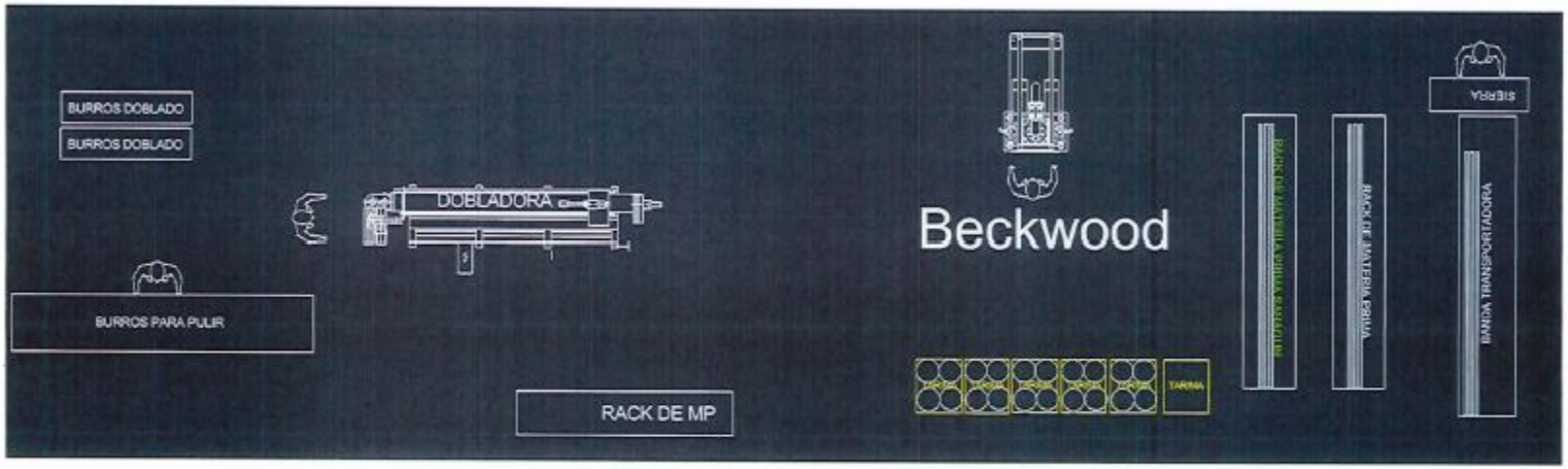


Figura 8. Layout preliminar firmado por los departamentos de Seguridad e Ingeniería.

8.7 Áreas auxiliares

Dentro del diseño e implementación de la estación de trabajo para la máquina Beckwood, se consideró la distribución de diversas áreas auxiliares necesarias para el correcto flujo del proceso productivo. Estas áreas fueron definidas con base en criterios de seguridad, accesibilidad y eficiencia operativa, asegurando que el material fluya de manera lógica y continua desde su recepción hasta la salida del producto terminado.

Se establecieron tres zonas principales de apoyo:

- Área de materia prima: destinada al almacenamiento temporal de los materiales requeridos para la fabricación de las piezas. Su ubicación permite un fácil acceso al inicio del proceso, evitando traslados innecesarios y tiempos muertos.
- Área de producto terminado: designada para el resguardo de las piezas una vez completado el proceso de manufactura. Esta zona facilita la inspección final, el registro y el traslado hacia las áreas de ensamble o envío.
- Área de producto no conforme: espacio destinado para el aislamiento de piezas que no cumplen con los estándares de calidad establecidos. Esta área cumple con las disposiciones del departamento de Calidad (QA) y busca evitar la mezcla de productos aprobados con los rechazados.

Estas áreas fueron definidas en el Layout de la bahía 4, validado por los departamentos de Ingeniería, Seguridad y Mejora Continua, garantizando el cumplimiento de los lineamientos internos de la planta. A continuación, se anexan las imágenes del Layout con la ubicación de las áreas auxiliares señaladas.

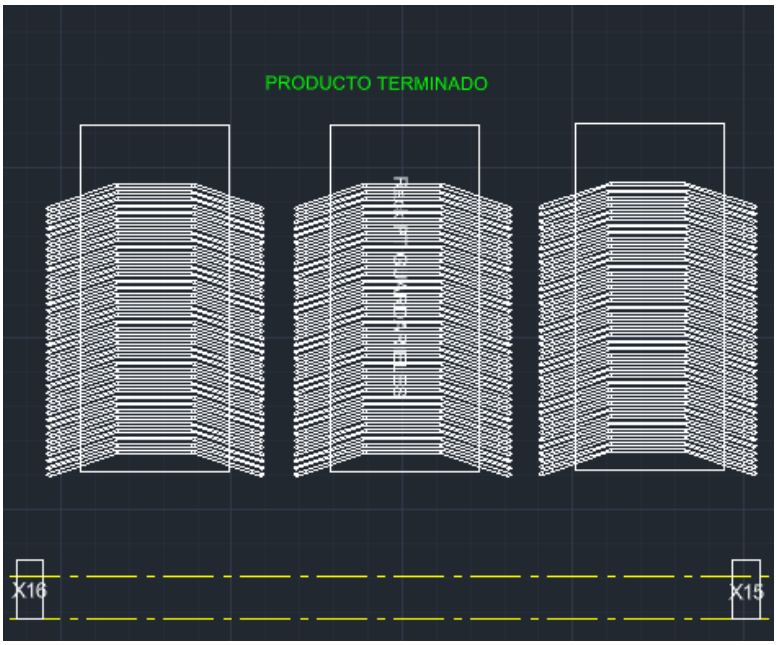


Figura 9. Área de producto terminado establecido en Layout

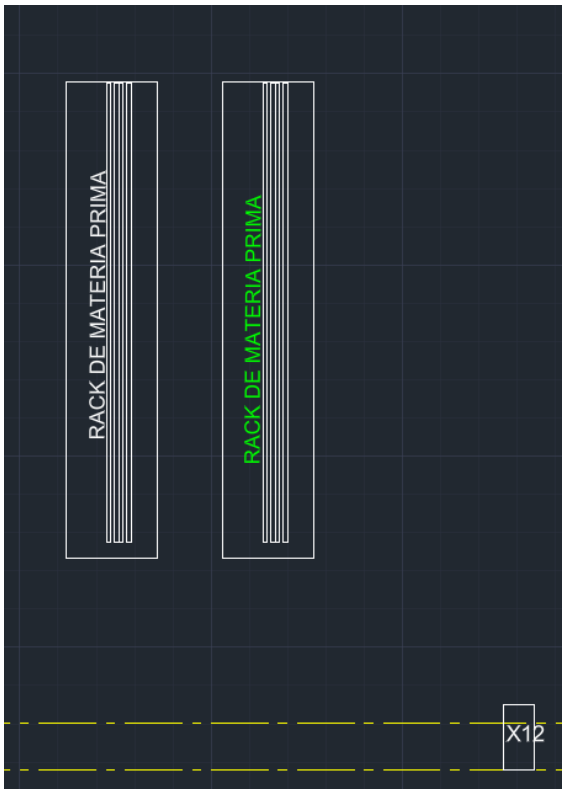


Figura 10. Área de materia prima establecido en Layout



Figura 11. Área de producto no conforme establecido en Layout

8.8 Recursos adicionales

Para el correcto funcionamiento de la estación de trabajo Beckwood, fue necesario identificar y solicitar una serie de recursos adicionales y misceláneos que complementan tanto la operación como la ergonomía y seguridad del área. Estos recursos fueron seleccionados con base en las necesidades de manipulación de material, soporte a las actividades de doblado y soldadura, y mantenimiento del orden y limpieza dentro de la estación.

Entre los principales recursos adquiridos se encuentran herramientas de apoyo como cajas de herramienta, kits de limpieza y botes de basura; equipos auxiliares como mesas de trabajo, carritos logísticos y mamparas para plantillas; así como dispositivos de izaje y sujeción como mordazas, imanes de palanca, igualadores modulares y arreglos de cadena con ganchos.

También se consideraron elementos para los procesos de soldadura (máquinas y antorchas), transporte interno (conveyors y racks), y equipos ergonómicos como escaleras y burros de trabajo.

La lista completa de misceláneos utilizados se muestra en la Tabla 10, la cual reúne los elementos necesarios para garantizar que la estación Beckwood opere de manera eficiente, segura y con autonomía operativa dentro de la bahía 4.

Lista de misceláneos estación de trabajo Beckwood		
Ítem	Nombre	Cantidad
1	Caja de herramienta	1
2	Kit de limpieza	1
3	Mesa para cambio de disco	1
4	Carrito para cadena	1
5	Kit de botes de basura	1
6	Mampara para plantillas	1
7	Despachador de garrafón de agua	1
8	Mesa de trabajo pequeña	1
9	Escalera de 2 peldaños	1
10	Pulidor de 4"	1
11	Turbina	1
12	Martillo	1
13	Cincel	1
14	Flexómetro	5
15	Manguera	1
16	Pulidor de 4"	2
17	Arreglo de cadena con 2 ramales de 62 " de largo, con ganchos	1
18	Igualador modular con grilletes de 22"	1
19	Mordazas verticales 500 kg	2
20	Imán de palanca 500 kg	2
21	imán manual de 100 lb	2
22	Igualador modular con grilletes de 22"	1
23	Arreglo de cadena con 2 ramales de 40 " de largo, con ganchos	2
24	Herramentales para Beckwood	2
25	Carrito logístico	4
26	Conveyor sierra cinta	2
27	Máquinas de soldar	3
28	Antorchas para soldar	3
29	Rack para tubería de Beckwood	2

Tabla 10. Recursos adicionales y misceláneos de estación

8.9 Traslado de equipo Beckwood

El traslado del equipo Beckwood se llevó a cabo desde la planta Greenbrier Sahagún, ubicada en el estado de Hidalgo, hacia las instalaciones de Greenbrier Tlaxcala, con el objetivo de integrarlo a la nueva estación de trabajo en la bahía 4.

Dadas las dimensiones y el peso del equipo, fue necesario emplear un vehículo tipo lowboy para su transporte, garantizando condiciones adecuadas de estabilidad y seguridad durante el recorrido. La gestión logística del traslado fue coordinada directamente por el equipo de Greenbrier Sahagún, incluyendo la contratación de la empresa transportista, la preparación del equipo y los permisos correspondientes para su movilización.

Por parte de Greenbrier Tlaxcala, la participación consistió únicamente en la recepción del equipo, asegurando que el área designada se encontrara libre y lista para la descarga. Una vez completado el traslado, se procedió a la inspección visual del equipo para verificar que no presentara daños durante el transporte, con lo cual se dio por finalizada esta etapa del proyecto.



Figura 12. Equipo Beckwood sobre lowboy el cual lo transporto



Figura 13. Equipo Beckwood sobre lowboy el cual lo transporto



Figura 14. Equipo Beckwood sobre lowboy el cual lo transporto

8.10 Preparación de área en bahía 4

Para garantizar la correcta recepción e instalación del equipo Beckwood, fue necesario acondicionar previamente la zona asignada dentro de la bahía 4. Esta etapa incluyó diversas actividades orientadas a asegurar que el espacio cumpliera con las condiciones de limpieza, orden y accesibilidad requeridas para la maniobra y posterior operación del equipo.

En primera instancia, se realizó una limpieza profunda del área, ya que la zona presentaba acumulación de polvo producto de procesos previos realizados en la bahía. Posteriormente, se llevó a cabo el retiro de racks, carritos logísticos, placas y otros elementos que se encontraban dentro del espacio y que podían interferir con la entrada, posicionamiento o maniobra del equipo.

Una vez despejada la zona, se procedió a delimitar físicamente la superficie destinada para la Beckwood, marcando los vértices y el perímetro mediante mediciones y pintura en aerosol. Esto permitió definir con precisión el espacio requerido para su colocación, así como verificar que no existieran obstrucciones en su entorno inmediato.

En cuanto a la infraestructura eléctrica, está ya se encontraba disponible en la bahía; sin embargo, el departamento de Mantenimiento realizó la bajada de alimentación necesaria para permitir la conexión directa del equipo. Finalmente, se aseguró que el área permaneciera despejada en todo momento para facilitar la maniobra de ingreso del lowboy y la correcta colocación del equipo durante su descarga.

Con estas acciones, la bahía 4 quedó completamente preparada para la fase de instalación y alineación de la Beckwood, cumpliendo con las condiciones de seguridad, espacio y funcionalidad establecidas para el proyecto

- Área antes de preparación para maniobra de descarga



Figura 15. Materia prima en lugar destinado a equipo Beckwood



Figura 16. Racks y carros logísticos en área de maniobra



Figura 17. Placas de acero en área de maniobra

- Área después de preparación para maniobra de descarga



Figura 18. Lugar destinado a equipo Beckwood



Figura 19. Vértices marcados donde se posiciono equipo



Figura 20. Bajada de electricidad realizada por mantenimiento

8.11 Instalación y ubicación de equipos

Para llevar a cabo la instalación del equipo Beckwood en su ubicación definitiva, fue necesaria la coordinación entre distintas áreas y el uso de maquinaria especializada. La empresa remitente contrató una grúa móvil de 50 toneladas para ejecutar la maniobra de descarga. Antes de iniciar cualquier actividad, se gestionó un Permiso de Actividad No Rutinaria, el cual fue revisado y autorizado por el Departamento de Seguridad Industrial; adicionalmente, este departamento verificó las condiciones de seguridad de la grúa y del área de trabajo.

Una vez autorizada la maniobra, el lowboy ingresó hasta el punto designado para la descarga y posteriormente la grúa móvil se posicionó para realizar el izaje. El personal de grúa, con apoyo del Departamento de Mantenimiento, realizó el proceso de enganche utilizando una grúa tipo Genie para acercar al operador y asegurar correctamente las eslingas al equipo. Con el equipo debidamente asegurado, el operador de la grúa efectuó el levantamiento y descenso controlado del Beckwood, alineándolo cuidadosamente con las marcas previamente trazadas en el piso para garantizar su colocación exacta.

Al alcanzar la posición final, el equipo fue depositado de manera segura sobre la superficie, y nuevamente, con apoyo de la grúa tipo Genie, se procedió al desenganche de las eslingas. Con la maniobra concluida, el lowboy y la grúa móvil se retiraron del área. Finalmente, el Departamento de Mantenimiento inició los trabajos correspondientes para poner en funcionamiento el equipo.



Figura 21. Grúa que realizo descarga de equipo



Figura 22. Operador enganchando eslingas en equipo



Figura 23. Grúa realizando descarga de equipo



Figura 24. Departamento de mantenimiento comenzando habilitación de equipo



Figura 25. Equipo Beckwood colocado en posición asignada

8.11.1 Verificación de condiciones de seguridad y ergonomía

Una vez que el equipo Beckwood fue colocado en su posición final, se realizó una verificación de seguridad y ergonomía por parte del Departamento de Seguridad Industrial, con el fin de asegurar que la zona cumpliera con los requisitos necesarios para operar de forma segura.

Durante esta revisión se evaluaron las distancias de circulación alrededor del equipo, la correcta delimitación del área de trabajo y la ausencia de obstáculos que pudieran representar un riesgo para los operadores.

Asimismo, se revisó la accesibilidad a paneles de control, puntos de operación y áreas de mantenimiento, asegurando posturas ergonómicas adecuadas y una interacción segura del personal con la máquina. Se validó también la correcta instalación de la conexión eléctrica realizada por el Departamento de Mantenimiento y el funcionamiento de los sistemas de paro de emergencia. Con esta verificación, el área quedó autorizada para avanzar hacia la siguiente etapa del proyecto y proceder con la solicitud del personal operativo requerido para las pruebas iniciales.

8.12 Solicitud de personal operativo

Para garantizar la operación continua y eficiente de la nueva estación de trabajo Beckwood, así como de los procesos asociados dentro de la bahía 4, fue necesario gestionar la asignación de personal operativo específico. La solicitud fue elaborada por el departamento de Mejora Continua e Ingeniería Industrial y dirigida al gerente del área para su validación y autorización.

Con base en las necesidades técnicas de la estación y en el flujo de proceso definido, se determinó que el personal requerido para operar en un turno de trabajo era el siguiente:

- 2 operadores de producción para la estación Beckwood.
- 1 operador de producción para la sierra cinta.
- 2 operadores de producción para la máquina dobladora.

Además de estas posiciones, también se solicitó personal para actividades complementarias del proyecto. En particular, para el armado de una pieza específica, se identificó la necesidad de 3 operadores adicionales por turno, debido al volumen de trabajo y a la criticidad del subensamble. Este proceso opera en dos turnos, por lo que fueron solicitados 6 operadores en total para garantizar la continuidad operativa.

En total, se gestionó la solicitud de 8 colaboradores para cubrir las necesidades operativas del proceso en un solo turno.

Se solicitó personal con perfil de operador de producción, dado que las funciones a desempeñar corresponden a operaciones manuales, alimentación de equipo, verificación dimensional y apoyo en maniobras, además de que en caso de necesitar soldadores la empresa proporciona el curso para que aprendan a desarrollar esta habilidad.

Una vez enviada, la solicitud quedó bajo revisión del gerente del área, quien es el responsable de canalizarla al área correspondiente para su asignación formal.

8.13 Piezas piloto

Como parte del proceso de arranque de la nueva estación de trabajo Beckwood, se llevó a cabo la fabricación de piezas piloto, cuyo objetivo principal fue validar la correcta operación del equipo, la calibración de parámetros y la secuencia de trabajo establecida para cada una de las piezas asignadas.

Las piezas seleccionadas como piloto fueron aquellas consideradas críticas para la producción interna, tanto por su volumen como por su relevancia en los subensambles estructurales. La fabricación de estas primeras unidades permitió:

- Verificar la capacidad real del equipo para realizar cortes, punzonados y dobleces conforme a las especificaciones del diseño.
- Identificar ajustes necesarios en velocidades, presiones, herramentales y sujeciones.
- Detectar posibles interferencias en el flujo de operación, así como necesidades adicionales de herramientas o mejoras en la organización de la estación.
- Confirmar que los operadores asignados comprendieran y ejecutaran correctamente las instrucciones preliminares del proceso.

Durante la producción de estas piezas, se documentaron observaciones tanto del personal operativo como del departamento de Mantenimiento y de Mejora Continua. Estas observaciones sirvieron como insumo para ajustes posteriores en la Hoja de Trabajo Estándar (HTE), el estudio de tiempos y los métodos de sujeción y manipulación.

La fabricación de piezas piloto representó un paso clave para asegurar que la estación de trabajo Beckwood operara de manera segura, eficiente y conforme a los requisitos de calidad establecidos antes de iniciar la producción formal.

8.13.1 Validación de piezas piloto por QA

Una vez fabricadas las piezas piloto en la estación de trabajo Beckwood, se procedió a su validación por parte del departamento de Aseguramiento de Calidad (QA). Esta fase tuvo como propósito confirmar que las primeras unidades producidas cumplían con los requerimientos dimensionales, geométricos y funcionales establecidos en los planos de ingeniería.

El proceso de validación incluyó:

- Inspección dimensional completa, utilizando herramientas como calibradores, cinta métrica, escuadras.
- Comparación contra los planos de diseño y tolerancias especificadas para verificar ángulos de doblez, posiciones de punzonado y dimensiones generales.
- Revisión de la calidad de corte, acabado superficial y presencia de rebabas o deformaciones.
- Confirmación del ensamble correcto (cuando aplicaba), verificando que los componentes encajaran adecuadamente sin interferencias.
- Registro de hallazgos y documentación de cualquier desviación encontrada.

En caso de identificarse variaciones o no conformidades, QA emitió observaciones dirigidas a los departamentos de Mejora Continua y Mantenimiento, lo que permitió realizar ajustes en la calibración de la máquina, parámetros de operación, herramentales o método de trabajo.

La validación por QA fue un paso clave para asegurar que la estación Beckwood contaba con la capacidad necesaria para producir piezas conformes desde el inicio del proceso, evitando desviaciones en la producción formal y garantizando el cumplimiento de los estándares internos de Greenbrier.

8.14 HTE (Hoja de Trabajo Estándar)

Con el objetivo de estandarizar las operaciones de la nueva estación de trabajo, se elaboraron tres Hojas de Trabajo Estándar (HTE) correspondientes a cada una de las actividades principales del proceso:

1. HTE de operación de la máquina Beckwood
2. HTE de corte en la cinta sierra
3. HTE del armado del ensamble Ring Assy Hatch

Para su elaboración fue necesario realizar una observación directa del proceso, analizando las tareas ejecutadas por los operadores desde la preparación del material hasta la obtención del producto final. Se registraron de manera estructurada:

- La secuencia exacta de actividades por cada operación.
- Los tiempos estándar obtenidos mediante estudios de trabajo.
- Los puntos clave de seguridad que deben respetarse en cada estación.
- Las herramientas, herramentales y equipos auxiliares requeridos.
- Los puntos de inspección necesarios para asegurar la calidad.
- La interacción entre operadores, equipos y flujo de materiales.

Cada HTE fue validada en conjunto con los departamentos de Producción, Seguridad Industrial y Mejora Continua, garantizando que las operaciones fueran seguras, repetibles, eficientes y alineadas con los estándares internos de la empresa.

8.15 HE (Hojas de Empaque)

Con el objetivo de garantizar el manejo seguro, la colocación correcta y el traslado eficiente de las piezas fabricadas en la estación de trabajo Beckwood, se elaboraron las Hojas de Empaque (HE) correspondientes a los productos procesados. Estas hojas funcionan como un documento visual y operativo que permite a los operadores identificar rápidamente la forma adecuada de acomodar las piezas dentro de los racks, evitando movimientos inestables, sobrecargas o malas prácticas que puedan derivar en accidentes o daños a las piezas.

Las HE fueron diseñadas siguiendo el formato institucional, incluyendo información esencial como:

- Número de diseño de la pieza a embalar.
- Imágenes de la pieza para rápida identificación.
- Peso por pieza y peso total por rack, en kilogramos y libras, para asegurar que los operadores no excedan los límites de carga.
- Dimensiones del rack y de la pieza, lo que ayuda a estibar de manera uniforme y segura.
- Cantidad exacta de piezas por rack, evitando sobrellenado y asegurando que el manejo sea ergonómico.
- Imágenes del rack vacío y lleno, proporcionando una guía visual clara de cómo debe quedar acomodado el material.
- Posición correcta de colocación, especialmente importante en piezas como el Assy-Hatch, 20 inch, cuyo diseño requiere una orientación específica para su estabilidad.
- Firmas de validación de los departamentos involucrados: Ingeniería Industrial, Seguridad Industrial, Calidad, Producción y Materiales.

Estas Hojas de Empaque se integraron como documentos controlados del proceso, y se colocarán en áreas visibles dentro de la estación, permitiendo que los operadores consulten rápidamente la forma adecuada de preparar un rack antes de su traslado a otra área. Gracias a su diseño visual y su información estandarizada, las HE contribuyen a:

- Reducir riesgos de accidentes durante la manipulación.
- Evitar daños por mala colocación o estiba incorrecta.
- Mantener la trazabilidad del material.
- Facilitar el entendimiento del proceso a nuevos operadores

8.16 Estudio de tiempos y movimientos

Con el fin de conocer la duración real de las operaciones dentro de la estación de trabajo y evaluar la eficiencia del proceso, se realizó un **estudio de tiempos y movimientos** enfocado exclusivamente en las actividades clave de la producción. Para ello, se llevaron a cabo **tomas de tiempo directas** en las tres operaciones principales:

- Corte de material en la sierra cinta,
- Formado de piezas en la máquina Beckwood
- Armado del ensamble Ring Assy Hatch

La toma de tiempos se realizó bajo condiciones normales de operación, registrando la duración de cada ciclo completo y considerando el comportamiento natural del proceso y de los operadores. Estos registros permitieron obtener una visión clara del desempeño real de la estación, identificar variaciones en la ejecución de tareas y establecer los tiempos base utilizados posteriormente en los análisis de balanceo y capacidad operativa.

- Toma de tiempos de Sierra cinta

Actividad	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5	Tiempo promedio
Tomar pieza de rack y colocar en sierra cinta	0.2	0.21	0.2	0.19	0.2	0.2
Ajustar posición de sierra cinta	0.16	0.14	0.17	0.15	0.16	0.156
Medir pieza y ajustar posición	0.4	0.41	0.42	0.42	0.41	0.412
Realizar corte	0.51	0.52	0.51	0.5	0.51	0.51
Retirar pieza de sierra cinta y colocar en rack	0.18	0.2	0.21	0.17	0.18	0.188
					Tiempo total (min)	1.466

Tabla 11. Toma de tiempos de sierra cinta

- Toma de tiempos equipo Beckwood con guardarraíl

Actividad	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5	Tiempo promedio
Tomar pieza de rack y colocar en equipo	0.1	0.11	0.12	0.09	0.15	0.114
Colocar remanente e insertar en punzón	0.12	0.14	0.1	0.15	0.1	0.122
Realizar ponchado	0.12	0.13	0.11	0.12	0.12	0.12
Retirar pieza y colocar en sig. punzón	0.09	0.1	0.11	0.11	0.1	0.102
Realizar perforación	0.12	0.13	0.12	0.14	0.15	0.132
Retirar pieza y colocar en rack de PT	0.13	0.15	0.13	0.14	0.15	0.14
					Tiempo total (min)	0.73

Tabla 12. Toma de tiempos de Beckwood

- Toma de tiempos equipo Beckwood con Assy-Hatch

Actividad	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5	Tiempo promedio
Tomar pieza de rack y colocar en equipo	0.11	0.12	0.11	0.13	0.11	0.116
Ajustar posición en molde	0.16	0.17	0.15	0.16	0.15	0.158
Realizar ponchado	0.13	0.12	0.14	0.15	0.14	0.136
Retirar pieza y colocar en rack de PT	0.16	0.15	0.14	0.16	0.17	0.156
					Tiempo total (min)	0.566

Tabla 13. Toma de tiempos de Beckwood

- Toma de tiempos Armado del ensamble Ring Assy Hatch

Actividad	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5	Tiempo promedio
Toma pieza de rack y coloca en mesa de trabajo	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.108
Puntea pieza Hatch ring	1.00	1.10	1.15	1.05	0.97	1.054
Coloca 4 soleras de inicio y fin de soldadura	0.50	0.40	0.60	0.50	0.55	0.51
Aplica soldadura interior	2.85	3.00	2.70	2.80	2.89	2.848
Retira escoria con espátula	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.108
Detalla soldadura en la parte exterior	4.80	4.70	4.90	4.50	4.50	4.68
Aplica primer cordón de soldadura exterior	1.48	1.50	1.60	1.30	1.45	1.466
Retira escoria con espátula	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.108
Aplica Segundo cordón de soldadura exterior	1.80	1.70	1.90	1.75	1.80	1.79
Retira escoria con espátula	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.108
Detalla cordón	1.38	1.40	1.26	1.36	1.46	1.372
Retira soleras de inicio y fin	2.04	2.10	1.90	2.04	2.04	2.024
Retira de mesa y coloca en racks	0.30	0.40	0.30	0.35	0.25	0.32
Toma pieza y coloca en mesa de trabajo	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.108
Coloca primer par de orejas en plantilla	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.1546
Coloca segundo par de orejas en plantilla	0.34	0.34	0.40	0.28	0.28	0.328
Ajusta posición de segundo par de orejas	0.13	0.14	0.15	0.13	0.13	0.1364
Puntea segundo par de orejas	0.30	0.31	0.29	0.30	0.30	0.3
Ajusta posición de primer par de orejas	0.38	0.40	0.36	0.40	0.40	0.388
Puntea primer par de orejas	0.29	0.30	0.28	0.30	0.30	0.294
Retira seguro de plantillas	0.26	0.27	0.25	0.26	0.26	0.26

Retira pieza y coloca en siguiente mesa de trabajo	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.108
Coloca pieza en posición	0.05	0.10	0.10	0.10	0.05	0.08
Limpia con espátula primer par de orejas	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.1076
Aplica soldadura en primer par de orejas	0.50	0.60	0.50	0.40	0.50	0.5
Retira escoria con espátula de primer par de orejas	0.20	0.30	0.10	0.20	0.20	0.2
Limpia con espátula segundo par de orejas	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.108
Aplica soldadura en segundo par de orejas	0.46	0.50	0.50	0.50	0.40	0.472
Retira escoria con espátula de segundo par de orejas	0.23	0.23	0.24	0.30	0.20	0.24
Marca trazabilidad con metal marker	0.20	0.30	0.10	0.20	0.20	0.2
Retira y coloca en siguiente mesa	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.108
Toma pieza y coloca en mesa de trabajo	0.25	0.30	0.40	0.30	0.20	0.29
Coloca pieza en posición	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.108
Detallada soldadura con turbina primer par de orejas	0.61	0.70	0.80	0.50	0.50	0.622
Detallada soldadura con turbina segunda par de orejas	0.48	0.50	0.40	0.50	0.50	0.476
Retire y coloca en plantilla	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10	0.108
Ajusta pieza en plantilla	0.16	0.26	0.20	0.20	0.20	0.204
Pule superficie de pieza	0.53	0.60	0.50	0.53	0.50	0.532
Retira y coloca en rack de PT	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.154
					Tiempo total (min)	23.0826

Tabla 14. Toma de tiempos de ensamble de Ring Assy Hatch

8.16.1 Diagrama Yamazumi y balanceo de cargas

Como parte del análisis de la capacidad operativa de la estación de trabajo y con el objetivo de comprender la distribución de los tiempos en los procesos clave, se elaboraron diversos diagramas Yamazumi. Estos diagramas permitieron visualizar la carga de trabajo por operación, identificar diferencias entre procesos y servir como base para la toma de decisiones posteriores.

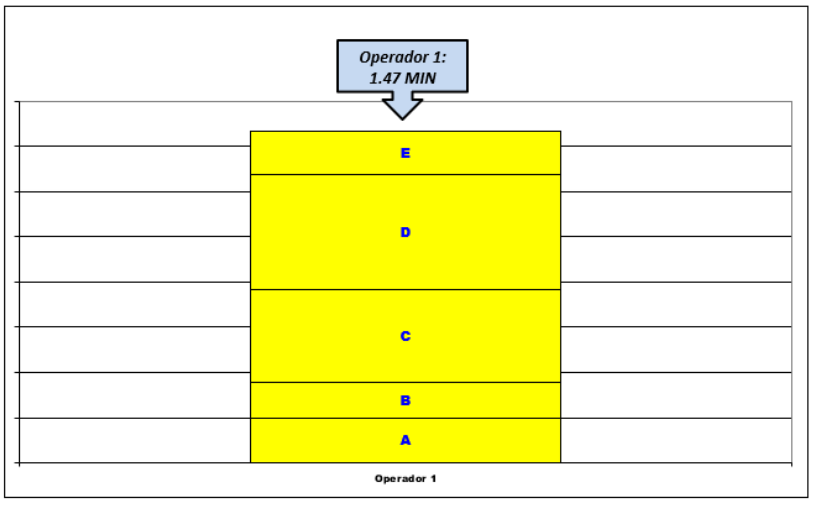
Se desarrollaron diagramas Yamazumi independientes para cada uno de los procesos involucrados en la fabricación interna de las piezas, considerando que cada operación presenta características, tiempos y requerimientos distintos. En específico, se realizaron los siguientes:

- **Proceso de sierra cinta:**

Se elaboró un diagrama Yamazumi correspondiente a la operación de corte en sierra cinta, considerando las actividades necesarias para el corte del material conforme a las dimensiones requeridas.

TABLERO YAMAZUMI

ÁREA:	**Plasma City**	**ESTACIÓN:**	**SIERRA CINTA**
No. PARTE:	**N/A**	**FECHA:**	**02/12/2025**



SITUACION ANALIZADA

Tpo Total	ACTIVIDADES	OPERACIONES		
1.47	**Operador 1**	A	Toma pieza y coloca en mesa de trabajo	0.20
		B	Ajustar posicion de Sierra cinta	0.16
		C	Medir pieza y ajustar posicion	0.41
		D	Realizar corte	0.51
		E	Retirar pieza de Siera cinta y colocar en rack	0.19

Grafica 1. Diagrama Yamazumi Sierra Cinta

En el caso de la operación de corte en sierra cinta, el diagrama Yamazumi se elaboró únicamente con fines descriptivos y de validación del tiempo de ciclo, ya que este proceso es realizado por un solo operador. Debido a esta condición, no es posible ni necesario realizar un análisis de balanceo de cargas, puesto que toda la operación recae en una sola persona y no existe distribución de tareas entre múltiples operadores.

El tiempo ciclo obtenido para esta operación es de **1.47 minutos**, el cual se considera adecuado para cumplir con la demanda diaria requerida. Con este tiempo de operación, la sierra cinta cuenta con la capacidad suficiente para abastecer las piezas necesarias para un día completo de trabajo sin generar cuellos de botella ni afectar el flujo del proceso.

Derivado de lo anterior, se concluye que la operación de sierra cinta se encuentra correctamente dimensionada en términos de capacidad, por lo que no se identificó la necesidad de realizar ajustes ni acciones de balanceo en esta etapa del proceso.

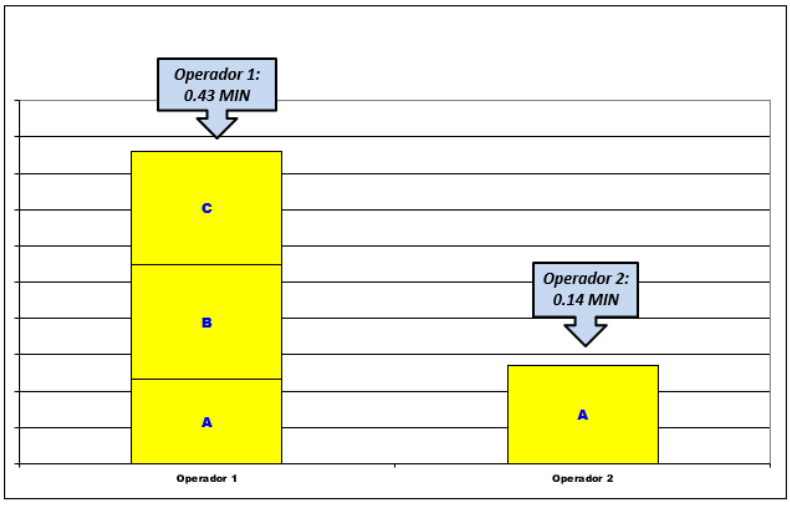
- **Proceso en equipo Beckwood:**

Para el equipo Beckwood se realizaron dos diagramas Yamazumi distintos:

❖ Uno correspondiente a la operación de **ponchado del Ring Assy Hatch**.

TABLERO YAMAZUMI

ÁREA:	**Plasma City**	**ESTACIÓN:**	**Beckwood**
No. PARTE	**N/A**	**FECHA:**	**02/12/2025**



SITUACION ANALIZADA

Tpo Total	ACTIVIDADES		OPERACIONES		
0.43	**Operador 1**	A	Tomar pieza de rack y colocar en equipo	0.12	
		B	Ajustar posicion en molde	0.16	
		C	Retirar pieza y colocar en rack de PT	0.16	
0.14	**Operador 2**	A	Realizar ponchado		0.14

Grafica 2. Diagrama Yamazumi Beckwood Ring Assy Hatch

Para la operación de ponchado del Ring Assy Hatch en el equipo Beckwood se elaboró el diagrama Yamazumi considerando la participación de dos operadores. El operador 1 presenta un tiempo de trabajo de 0.43 minutos, mientras que el operador 2 registra un tiempo de 0.14 minutos, lo que da como resultado un tiempo ciclo total de **0.57 minutos** para la operación.

A partir del análisis del diagrama, se observa una desigualdad en la carga de trabajo entre ambos operadores. Esta diferencia se debe principalmente a la naturaleza de las actividades asignadas a cada uno. El operador 1 es responsable de tomar la pieza desde el rack de materia prima, colocarla en el equipo Beckwood, retirar la pieza una vez ponchada y acomodarla en el rack de producto terminado. Por su parte, el operador 2 se encarga exclusivamente del control y accionamiento del equipo, es decir, de iniciar el ciclo de ponchado una vez que la pieza se encuentra correctamente posicionada.

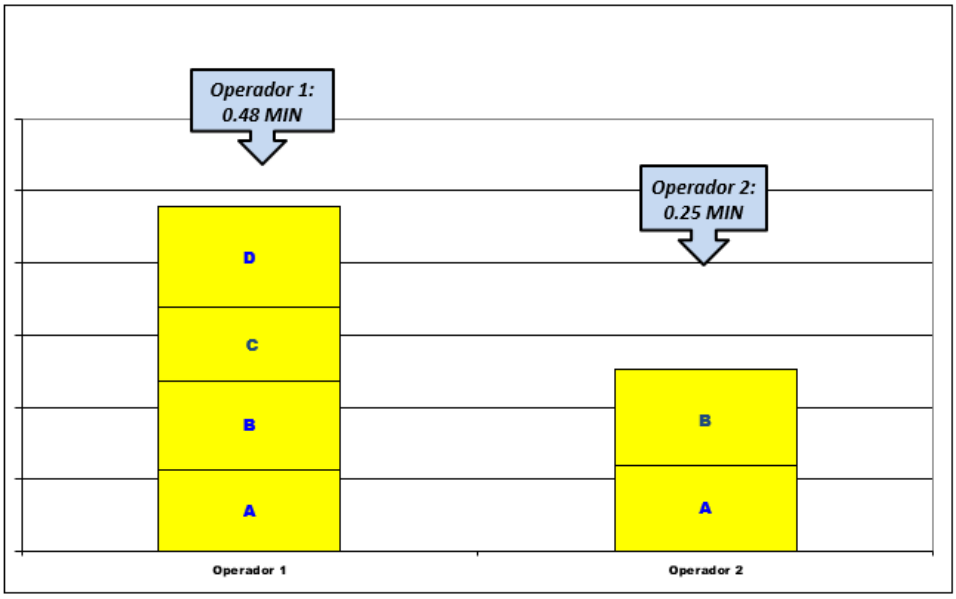
Si bien el diagrama evidencia cargas de trabajo disparejas, no se considera viable realizar un balanceo tradicional de tareas entre los operadores, ya que asignar actividades adicionales al operador 2 implicaría mayores desplazamientos y movimientos innecesarios, lo cual podría generar un incremento en el tiempo ciclo y afectar negativamente la eficiencia del proceso.

Como alternativa para mitigar la diferencia en la carga de trabajo, se propone la rotación periódica de operadores entre ambos roles. Esta práctica permitiría equilibrar el esfuerzo físico y operativo a lo largo del turno, sin impactar el tiempo ciclo del proceso, además de contribuir a la ergonomía, polivalencia del personal y reducción de la fatiga acumulada.

❖ Otro correspondiente a la operación de **ponchado del guardarrail**, debido a que ambos productos presentan diferencias en su secuencia y tiempos de operación.

TABLERO YAMAZUMI

ÁREA:	**Plasma City**	**ESTACIÓN:**	**Beckwood**
No. PARTE:	**N/A**	**FECHA:**	**02/12/2025**



SITUACION ANALIZADA

Tpo Total	ACTIVIDADES		OPERACIONES		
0.48	**Operador 1**	A	Tomar pieza de rack y colocar en equipo	0.11	
		B	Colocar remanente e insertar en punzon	0.12	
		C	Retirar pieza y colocar en sig punzon	0.10	
		D	Retirar pieza y colocar en rack de PT	0.14	
0.25	**Operador 2**	A	Realizar ponchado		0.12
		B	Realizar perforacion		0.13

Grafica 3. Diagrama Yamazumi Beckwood Guardarraíl

Para la operación de ponchado del guardarraíl en el equipo Beckwood se desarrolló el diagrama Yamazumi considerando la participación de dos operadores. El análisis arrojó que el operador 1 presenta un tiempo de trabajo de 0.48 minutos, mientras que el operador 2 registra un tiempo de 0.25 minutos, obteniendo un tiempo ciclo total de **0.73 minutos** para la operación.

Al igual que en el proceso de ponchado del Ring Assy Hatch, el diagrama evidencia un desbalance en la carga de trabajo entre ambos operadores. Este comportamiento se origina nuevamente por la distribución de actividades dentro del proceso. El operador 1 es responsable de las tareas físicas y logísticas, que incluyen la toma de la pieza desde el rack de materia prima, su correcta colocación en el equipo Beckwood, el retiro de la pieza una vez concluido el ponchado y su acomodo en el rack de producto terminado. Por otro lado, el operador 2 se encarga del accionamiento y control del equipo, activando el ciclo de ponchado una vez que la pieza se encuentra posicionada.

Aunque el diagrama muestra una diferencia en los tiempos asignados a cada operador, no se considera viable realizar un balanceo directo de tareas, ya que asignar actividades adicionales al operador 2 implicaría mayores desplazamientos y movimientos innecesarios, lo que podría generar un incremento en el tiempo ciclo y afectar la estabilidad del proceso.

Como alternativa de mejora, se plantea la rotación de operadores entre ambas posiciones durante el turno, con el objetivo de distribuir de manera más equitativa la carga de trabajo física y operativa, sin impactar negativamente el tiempo ciclo del proceso. Esta práctica contribuye además a mejorar las condiciones ergonómicas, fortalecer la polivalencia del personal y reducir el riesgo de fatiga por actividades repetitivas.

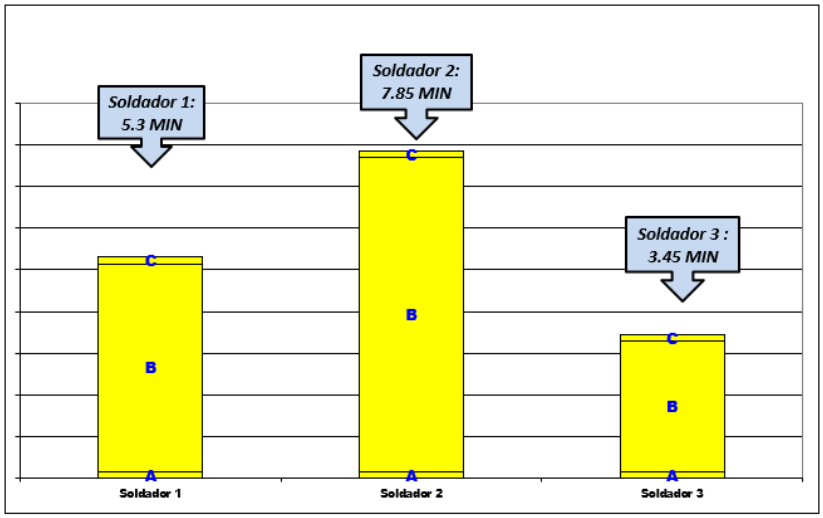
- **Proceso de armado del Ring Assy Hatch:**

Debido a la complejidad del ensamble, este proceso se desglosó en tres diagramas Yamazumi:

❖ **Limpieza de la sábana o placa de los anillos**, así como el **corte de los anillos**, considerando que cada sábana contiene seis anillos y proviene previamente de un proceso de rolado.

TABLERO YAMAZUMI

ÁREA:	**Plasma City**	**ESTACIÓN:**	**HATCH RING**
No. PARTE	**N/A**	**FECHA:**	**03/12/2025**



SITUACION ANALIZADA

Tpo Total	ACTIVIDADES		OPERACIONES			
5.30	Soldador 1	A	Toma pieza y coloca en mesa de trabajo	0.16		
		B	Corta hatch con plasma	4.98		
		C	Retira y coloca en rack	0.16		
7.85	Soldador 2	A	Toma de rack y coloca sobre mesa de trabajo		0.16	
		B	Detalla corte con pulidor		7.53	
		C	Retira y coloca en rack		0.16	
3.45	Soldador 3	A	Toma sabana de rack y coloca en mesa de trabajo			0.16
		B	Limpia sabana con pulidor			3.13
		C	Retira y coloca en rack			0.16

Grafica 4. Diagrama Yamazumi Limpieza y corte de anillos

Para la etapa de limpieza y corte de anillos, previa al proceso de rolado, se elaboró un diagrama Yamazumi considerando la participación de tres soldadores, ya que esta fase del proceso se desarrolla de manera paralela y con actividades diferenciadas. El análisis de tiempos mostró que **el soldador 1** presenta un tiempo de **5.30 minutos**, **el soldador 2** un tiempo de **7.85 minutos**, y **el soldador 3** un tiempo de **3.45 minutos**.

La distribución de actividades explica el desbalance observado en la carga de trabajo. El soldador 1 es responsable de realizar el corte de los anillos, o bien, la división de la "oruga" mediante corte por plasma, actividad que define la forma base de las piezas. Posteriormente, el soldador 2 se encarga del detalle del corte, eliminando rebabas y corrigiendo imperfecciones propias del proceso de plasma, con el objetivo de asegurar que los anillos cumplan con las condiciones necesarias para el siguiente proceso. Finalmente, el soldador 3 realiza la limpieza de las sábanas que serán enviadas al proceso de rolado, preparando el material y manteniendo el flujo continuo del proceso. Cabe mencionar que los tiempos son por 6 piezas, es decir, cada "oruga" contiene 6 anillos y cada sabana también contiene 6 piezas, por lo que el tiempo por pieza del corte de anillo es de **2.19 minutos** y la limpieza de sabana por pieza es de **0.58 minutos.**

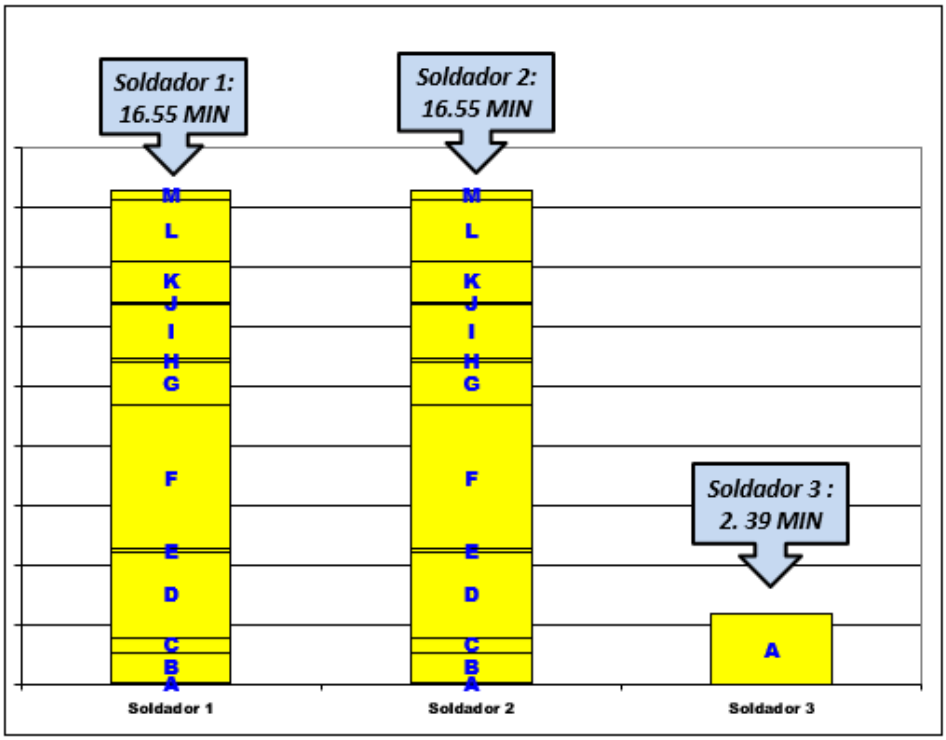
Es importante destacar que en esta etapa no se determina un tiempo ciclo, ya que las actividades analizadas representan solo una parte del proceso total de fabricación del Ring Assy Hatch. Por esta razón, el diagrama Yamazumi se utiliza como una herramienta de análisis para comprender la distribución de cargas de trabajo y la secuencia operativa, más que para definir un balanceo inmediato.

No obstante, el análisis permite identificar oportunidades futuras de mejora, como la redistribución de tareas o la rotación de personal, una vez que se cuente con el tiempo ciclo completo del proceso y se evalúe su impacto en la productividad y el flujo general de la estación de trabajo.

- **Soldadura de ranura de la oruga**, nombre con el que se identifica la sábana una vez rolada, contemplando únicamente las actividades asociadas a esta operación.

TABLERO YAMAZUMI

ÁREA:	**Plasma City**	**ESTACIÓN:**	**HATCH RING**
No. PARTE	**N/A**	**FECHA:**	**03/12/2025**



SITUACION ANALIZADA

Tpo Total	ACTIVIDADES	SECUENCIA DE OPERACIONES				
16.55	Soldador 1	A	Toma pieza de rack y coloca en mesa de	0.10		
		B	Puntea pieza hatch ring	1.00		
		C	Coloca 4 soleras de inicio y fin de soldadura	0.50		
		D	Aplica soldadura interior	2.85		
		E	Retira escoria con espatula	0.10		
		F	Detalla soldadura en la parte exterior	4.80		
		G	Aplica primer cordon de soldadura exteriror	1.48		
		H	Retira escoria con espatula	0.10		
		I	Aplica Segundo cordon de soldadura exteriror	1.80		
		J	Retira escoria con espatula	0.10		
		K	Detalla cordon	1.38		
		L	Retira soleras de inicio y fin	2.04		
		M	Retira de mesa y coloca en racks	0.30		
16.55	Soldador 2	A	Toma pieza de rack y coloca en mesa de		0.10	
		B	Puntea pieza hatch ring		1.00	
		C	Coloca 4 soleras de inicio y fin de soldadura		0.50	
		D	Aplica soldadura interior		2.85	
		E	Retira escoria con espatula		0.10	
		F	Detalla soldadura en la parte exterior		4.80	
		G	Aplica primer cordon de soldadura exteriror		1.48	
		H	Retira escoria con espatula		0.10	
		I	Aplica Segundo cordon de soldadura exteriror		1.80	
		J	Retira escoria con espatula		0.10	
		K	Detalla cordon		1.38	
		L	Retira soleras de inicio y fin		2.04	
		M	Retira de mesa y coloca en racks		0.30	
2.39	Soldador 3	A	Apoyo en actividades			2.39

Grafica 5. Diagrama Yamazumi Soldadura de Ranura

Para la etapa de soldadura de ranura de la oruga, se elaboró el diagrama Yamazumi considerando nuevamente la participación de tres soldadores. No obstante, durante esta operación específica, la ejecución directa de la soldadura es realizada únicamente por el soldador 1 y el soldador 2, mientras que el soldador 3 funge como apoyo al proceso o continúa con actividades correspondientes a la etapa previa de limpieza de sábanas, por lo que su tiempo asignado en este diagrama es de **2.39 minutos**.

El tiempo total registrado para la operación de soldadura de ranura es de **16.55 minutos por oruga**. Cabe destacar que cada oruga está compuesta por **6 piezas**. Al distribuir el tiempo total entre el número de piezas soldadas, se obtiene un **tiempo equivalente de 2.76 minutos por pieza**, lo cual permite dimensionar de manera más precisa la contribución de esta operación dentro del proceso total de fabricación del Ring Assy Hatch.

El diagrama Yamazumi muestra una concentración de carga de trabajo en los soldadores 1 y 2, lo cual es consistente con la naturaleza del proceso, ya que la soldadura de ranura requiere atención directa, habilidad técnica y control de parámetros, limitando la posibilidad de redistribuir actividades sin afectar la calidad del producto. En este sentido, el desbalance observado no representa una ineficiencia, sino una consecuencia directa de la especialización de la operación.

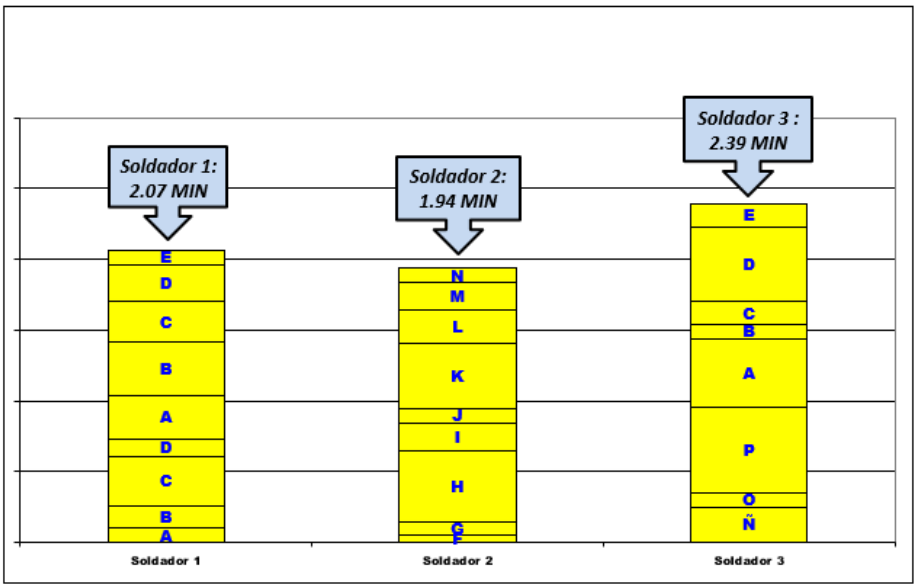
Dado que esta etapa forma parte de un proceso más amplio y que el tiempo ciclo total del ensamble aún depende de operaciones posteriores, el análisis Yamazumi se utiliza principalmente como una herramienta de comprensión del flujo y de la carga de trabajo, dejando el balanceo de cargas como una posible oportunidad de mejora futura una vez evaluado el proceso completo.

- **Armado o ensamble final del Ring Assy Hatch**, integrando los componentes correspondientes hasta obtener la pieza terminada.

La elaboración de este diagrama Yamazumi permitió tener una visión clara del comportamiento de cada proceso, facilitando el análisis de cargas de trabajo y sentando las bases para futuras mejoras en el balanceo y eficiencia de la estación.

TABLERO YAMAZUMI

ÁREA:	**Plasma City**	**ESTACIÓN:**	**HATCH RING**
No. PARTE:	**N/A**	**FECHA:**	**03/12/2025**



SITUACION ANALIZADA

Tpo Total	ACTIVIDADES	OPERACIONES				
2.07	Soldador 1	A	Toma pieza y coloca en mesa de trabajo	0.10		
		B	Coloca primer par de orejas en plantilla	0.16		
		C	Coloca segundo par de orejas en plantilla	0.34		
		D	Ajusta posicion de segundo par de orejas	0.13		
		A	Puntea segundo par de orejas	0.30		
		B	Ajusta posicion de primer par de orejas	0.38		
		C	Puntea primer par de orejas	0.29		
		D	Retira seguro de plantillas	0.26		
		E	Retira pieza y coloca en siguiente mesa de trabajo	0.10		
1.94	Soldador 2	F	Coloca pieza en posicion		0.05	
		G	Limpia con espatula primer par de orejas		0.10	
		H	Aplica soldadura en primer par de orejas		0.50	
		I	Retira escoria con espatula de primer par de orejas		0.20	
		J	Limpia con espatula segundo par de orejas		0.10	
		K	Aplica soldadura en segundo par de orejas		0.46	
		L	Retira escoria con espatula de segundo par de orejas		0.23	
		M	Marca trasabilidad con metal market		0.20	
		N	Retira y coloca en siguiente mesa		0.10	
2.39	Soldador 3	Ñ	Toma pieza y coloca en mesa de trabajo			0.25
		O	Coloca pieza en posicion			0.10
		P	Detallada soldadura con turbina primer par de orejas			0.61
		A	Detallada soldadura con turbina segunda par de orejas			0.48
		B	Retire y coloca en plantilla			0.10
		C	Ajusta pieza en plantilla			0.16
		D	Pule superficie de pieza			0.53
		E	Retira y coloca en rack de PT			0.16

Grafica 6. Diagrama Yamazumi armado de Assy Hatch Ring

Para la etapa de ensamble final del Ring Assy Hatch, se desarrolló el diagrama Yamazumi considerando la participación activa de tres soldadores, los cuales presentan carga de trabajo directa dentro del proceso. A diferencia de las etapas anteriores, en esta operación los tres soldadores intervienen de manera secuencial y complementaria, lo que permite una mejor distribución de las actividades.

El soldador 1 es responsable de la colocación de las orejas en el anillo del Ring Assy Hatch, así como de aplicar puntos de soldadura con el objetivo de asegurar su posición y evitar desplazamientos durante las operaciones posteriores. El tiempo registrado para esta actividad es de **2.07 minutos por pieza**. Posteriormente, el soldador 2 se encarga de realizar la soldadura completa de cada una de las orejas, garantizando la correcta unión y resistencia estructural del ensamble, con un tiempo de **1.94 minutos por pieza**. Finalmente, el soldador 3 realiza el detalle de la pieza final, lo que incluye el acabado de los cordones de soldadura y la revisión general de la pieza, asegurando que cumpla con los estándares de calidad establecidos, con un tiempo de **2.39 minutos por pieza.**

El diagrama Yamazumi muestra que los tres soldadores presentan tiempos muy similares, lo que se traduce en una carga de trabajo equilibrada dentro de esta etapa del proceso. Esta distribución favorece un flujo continuo, reduce tiempos de espera entre operaciones y minimiza la necesidad de ajustes inmediatos en la asignación de tareas.

Resumen de tiempos

Limpieza de sabanas	Corte de anillo (Min)	Soldadura de ranura (Min)	Armado de Assy Hatch Ring (Min)
3.45	13.15	16.55	2.39

Tabla 15. Tiempos de armado de Assy Hatch Ring

Tiempo disponible por turno (Min)
490

Tabla 16. Tiempo disponible de trabajo por turno

Proceso	Tiempo x pz (min)	40 pz (min)	50 pz (min)	60 pz (min)
Limpieza de sabanas	0.58	23.2	29	34.8
Corte de anillo	2.19	87.6	109.5	131.4
Soldadura de ranura	2.76	110.4	138	165.6
Armado de Assy Hatch Ring	2.39	95.6	119.5	143.4
Tiempo total	7.92	316.8	396	475.2
		173.2	94	14.8
		Tiempo disponible por turno - Tiempo Total		

Tabla 17. Tiempo de proceso por pieza

Con base en los diagramas Yamazumi desarrollados para los distintos subprocesos del Ring Assy Hatch, se consolidaron los tiempos de operación por pieza, integrando las etapas de **limpieza de sábanas**, **corte de anillo**, **soldadura de ranura** y **armado del Assy Hatch Ring**. La inclusión del proceso de limpieza de sábanas se consideró pertinente, ya que esta actividad puede ejecutarse indistintamente en el primer o segundo proceso, sin afectar el flujo general de producción.

El análisis muestra que el tiempo total de fabricación por pieza es de **7.92 minutos**. A partir de este valor, se estimó el tiempo requerido para distintos volúmenes de producción diaria. Para una producción de 50 piezas, que corresponde a la demanda actual, se requiere un tiempo total de **396 minutos por turno**. Considerando el tiempo disponible por turno, se identifica un tiempo sobrante aproximado de **94 minutos**, equivalente a cerca de 1 hora y media, lo que confirma que el proceso es capaz de cumplir con la demanda diaria en un solo turno.

Actualmente**, la demanda es de 50 Ring Assy Hatch por día**, ya que cada vagón de tren requiere 10 piezas y la producción diaria es de 5 vagones. Bajo estas condiciones, el análisis confirma que la estación de trabajo tiene la capacidad suficiente para abastecer la demanda diaria sin generar cuellos de botella. Incluso, al evaluar escenarios de mayor volumen, como 60 piezas por día, el proceso continúa siendo viable dentro del tiempo disponible por turno, aunque con un margen menor.

Cabe destacar que, a pesar de contar actualmente con dos turnos de operación, la producción real apenas alcanza 40 piezas por turno, lo que evidencia una oportunidad clara de mejora mediante la estandarización del proceso y el balanceo de cargas. Derivado del análisis de los Yamazumi realizados, se determinó que únicamente el proceso de armado del Ring Assy Hatch es candidato a un balanceo de cargas, ya que en este subproceso se cuenta con una distribución de actividades que permite optimizar el uso del personal sin afectar la calidad ni el tiempo ciclo.

Adicionalmente, la decisión de realizar el balanceo de cargas en el armado del Assy Hatch Ring no solo responde al cumplimiento de la demanda interna, sino también a la estrategia futura de fabricar estas piezas para su venta a una empresa hermana ubicada en otro estado. Esta proyección hace necesario contar con un proceso robusto, eficiente y con capacidad adicional, que permita incrementar el volumen de producción sin requerir recursos extraordinarios.

En conclusión, el análisis de tiempos y Yamazumi confirma que la estación de trabajo tiene la capacidad de cumplir con la demanda actual en un solo turno, genera margen de tiempo disponible para absorber variaciones o incrementos en la producción y presenta una oportunidad clara de mejora mediante el balanceo del proceso de armado, fortaleciendo así la viabilidad operativa y estratégica del proyecto.

8.17 Mermas del proceso

Durante el análisis del proceso de fabricación del Ring Assy Hatch se identificaron diversas mermas que impactan directamente en el aprovechamiento de los recursos y en la eficiencia de la estación de trabajo. La principal merma detectada corresponde a **tiempos muertos en el proceso de armado**, la cual fue **cuantificada** mediante el análisis de tiempos y los diagramas Yamazumi desarrollados previamente.

El estudio de capacidad demostró que el proceso de armado del Ring Assy Hatch cuenta con una **capacidad de producción superior a la demanda actual**, ya que es posible cumplir con la producción diaria requerida en un solo turno, generando incluso un margen de tiempo disponible considerable. Sin embargo, en la operación real se observó que la producción por turno es inferior a la capacidad teórica del proceso, lo que evidencia la presencia de **tiempos muertos asociados a esperas entre operaciones, desbalance en la asignación de actividades y falta de aprovechamiento del tiempo disponible**. Esta condición representa una merma directa en términos de productividad y utilización de mano de obra.

Adicionalmente, se identificaron **mermas por movimientos innecesarios**, principalmente durante el manejo de piezas entre estaciones y el acomodo de material en racks de materia prima y producto terminado. Estos movimientos, aunque no generan desperdicio de material, incrementan el tiempo total del proceso y contribuyen a la generación de tiempos improductivos.

Otra merma detectada corresponde a **tiempos de preparación y ajuste**, especialmente en las operaciones de soldadura y armado, donde la falta de una secuencia completamente estandarizada puede generar variaciones en los tiempos de ejecución entre operadores. Si bien estas variaciones no afectan directamente la calidad del producto, sí influyen en la estabilidad del proceso y en la repetibilidad de los tiempos ciclo.

La identificación de estas mermas permitió establecer una base clara para el desarrollo de acciones de mejora enfocadas en la **optimización del uso del tiempo disponible**, la reducción de actividades que no agregan valor y el fortalecimiento de la estandarización del proceso, las cuales se abordan en los puntos subsecuentes del proyecto.

8.17.1 Presentación de resultados a ESG (Equipo de Soporte Greenbrier)

Una vez identificadas y cuantificadas las mermas del proceso, principalmente los tiempos muertos en el armado del Ring Assy Hatch, se realizó la presentación de resultados al Equipo de Soporte Greenbrier (ESG)**.** Esta presentación se sustentó en datos duros obtenidos a partir de la toma de tiempos, así como en el análisis gráfico mediante diagramas Yamazumi, los cuales permitieron visualizar de manera clara la distribución de la carga de trabajo y la capacidad real del proceso.

Durante la presentación se expusieron los tiempos por operación, el tiempo total por pieza y la comparación entre la capacidad instalada del proceso y la producción real por turno, evidenciando que el proceso tiene la capacidad de cumplir con la demanda diaria en un solo turno, generando tiempo disponible no aprovechado. Asimismo, se mostraron los Yamazumi correspondientes a las distintas etapas del proceso, destacando aquellas donde se presentan desbalances de carga que derivan en tiempos improductivos.

El objetivo principal de esta presentación fue asegurar que todos los departamentos involucrados estuvieran informados y alineados respecto al estado actual de la estación de trabajo, los resultados obtenidos y las oportunidades de mejora identificadas. De esta manera, se buscó generar visibilidad del proyecto y permitir que las áreas de soporte se anticiparan a posibles requerimientos futuros, facilitando recursos, autorizaciones o apoyo técnico en caso de ser necesario para la implementación de las acciones de mejora.

Esta comunicación interdepartamental permitió sentar las bases para la planificación de las siguientes etapas del proyecto, enfocadas en la eliminación de desperdicios, la optimización del proceso y el fortalecimiento de la capacidad productiva de la estación de trabajo

8.17.2 Plan para la eliminación de desperdicios

Con base en las mermas identificadas y presentadas al Equipo de Soporte Greenbrier, se desarrolló un plan para la eliminación de desperdicios, enfocado principalmente en la reducción de tiempos muertos y en el mejor aprovechamiento de la capacidad instalada de la estación de trabajo Beckwood.

El análisis de datos y diagramas Yamazumi permitió identificar que el proceso cuenta con una capacidad superior a la producción actual, por lo que el plan de mejora se orienta a optimizar la asignación de actividades, reducir esperas entre operaciones y asegurar un flujo continuo del proceso, especialmente en el área de armado del Ring Assy Hatch, donde se concentra la mayor oportunidad de mejora.

Dentro del plan se consideraron acciones como la revisión de la secuencia operativa, la identificación de actividades que no agregan valor y la evaluación de alternativas para redistribuir la carga de trabajo sin afectar la calidad del producto. Asimismo, se contempló el fortalecimiento de la estandarización del proceso, con el objetivo de reducir variaciones entre operadores y asegurar la repetibilidad de los tiempos de operación.

Este plan también se diseñó considerando la proyección futura del proceso, ya que además de cubrir la demanda interna actual, se busca contar con un proceso capaz de absorber incrementos en el volumen de producción derivados de la fabricación de piezas para una empresa hermana. Por ello, las acciones propuestas no solo están orientadas a la eliminación de desperdicios actuales, sino también a la preparación del proceso para un crecimiento sostenible.

8.17.3 Gestión de propuesta de mejoras

Derivado del análisis de mermas del proceso y del plan para la eliminación de desperdicios, se procedió a la gestión de propuestas de mejora, las cuales se fundamentaron en los datos obtenidos durante la toma de tiempos, los diagramas Yamazumi y la evaluación de la capacidad del proceso. Estas propuestas fueron enfocadas principalmente en el aprovechamiento del tiempo disponible, la reducción de tiempos muertos y la optimización de la estación de trabajo.

La gestión de las propuestas se realizó considerando la viabilidad operativa, el impacto en la productividad y la disponibilidad de recursos, priorizando aquellas acciones que no comprometieran la calidad del producto ni la seguridad del personal. Entre las principales propuestas se incluyó el **balanceo de cargas en el proceso de armado del Ring Assy Hatch**, al identificarse como el subproceso con mayor oportunidad de mejora y con una capacidad suficiente para absorber incrementos en el volumen de producción.

Asimismo, las propuestas contemplaron la estandarización de actividades, el ajuste de la secuencia operativa y el fortalecimiento de las prácticas de trabajo, con el objetivo de asegurar la repetibilidad del proceso y reducir la variabilidad entre turnos y operadores. Estas acciones se alinearon tanto con la demanda interna actual como con la proyección futura de fabricación de piezas para una empresa hermana, lo que requiere un proceso estable, flexible y con capacidad adicional.

Las propuestas de mejora fueron comunicadas a los departamentos involucrados a través del Equipo de Soporte Greenbrier, con la finalidad de asegurar la alineación interdepartamental y facilitar la autorización e implementación de las acciones requeridas en la siguiente etapa del proyecto.

8.17.4 Implementación de mejoras

Derivado del análisis de mermas del proceso, del plan para la eliminación de desperdicios y de la gestión de propuestas de mejora, se procedió a la implementación de acciones enfocadas en optimizar la eficiencia de la estación de trabajo, con especial énfasis en el proceso de fabricación del Ring Assy Hatch.

La principal mejora implementada consistió en el balanceo de cargas de trabajo en la estación de armado del Ring Assy Hatch, el cual se realizó a partir del análisis detallado de los diagramas Yamazumi. Este análisis permitió identificar la presencia de tiempos muertos y una subutilización de recursos, lo que llevó a la reducción de un operador por turno y a la redistribución de actividades entre los operadores restantes.

Como parte de esta implementación, se redefinieron las responsabilidades dentro de los procesos de limpieza de sábana, corte de oruga, soldadura de ranura y armado, asegurando una mejor distribución de las tareas y un flujo más continuo de las operaciones. La redistribución de actividades se realizó considerando la naturaleza de cada proceso, la secuencia operativa y la necesidad de mantener los estándares de calidad y seguridad establecidos.

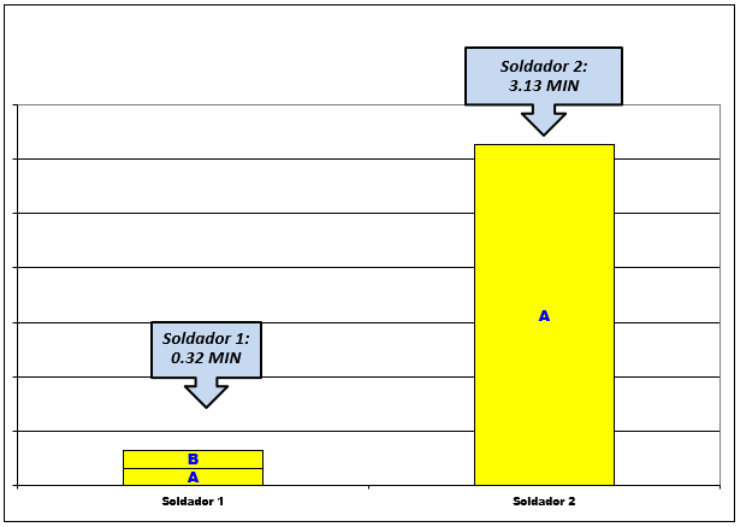
La validación de las mejoras se apoyó en la elaboración de diagramas Yamazumi balanceados, los cuales permitieron confirmar una utilización más eficiente del personal, la reducción de actividades improductivas y una mayor estabilidad del proceso. Estas acciones contribuyeron a fortalecer la capacidad operativa de la estación de trabajo, preparándola no solo para cubrir la demanda interna actual, sino también para responder a posibles incrementos en el volumen de producción derivados de proyectos futuros.

Como parte de la implementación de mejoras, se realizó el balanceo de cargas de trabajo en el proceso de fabricación del Ring Assy Hatch, considerando ahora cuatro procesos principales: limpieza de sábana, corte de oruga, soldadura de ranura y armado del Assy Hatch Ring. Este balanceo se llevó a cabo tras la reducción de un soldador por turno, redistribuyendo las actividades entre los dos operadores restantes con el objetivo de eliminar tiempos muertos y aprovechar de mejor manera la capacidad del proceso.

- **Limpieza de sábana**

TABLERO YAMAZUMI

ÁREA:	**Plasma City**	**ESTACIÓN:**	**Hatch Ring**
No. PARTE:	**N/A**	**FECHA:**	**02/01/2026**



SITUACION ANALIZADA

Tpo Total	ACTIVIDADES	SECUENCIA DE OPERACIONES			
0.32	**Soldador 1**	A	Toma sabana de rack y coloca en mesa de trabajo	0.16	
		B	Retira sabana y coloca en rack	0.16	
3.13	**Soldador 2**	A	Limpia sabana con pulidor		3.13

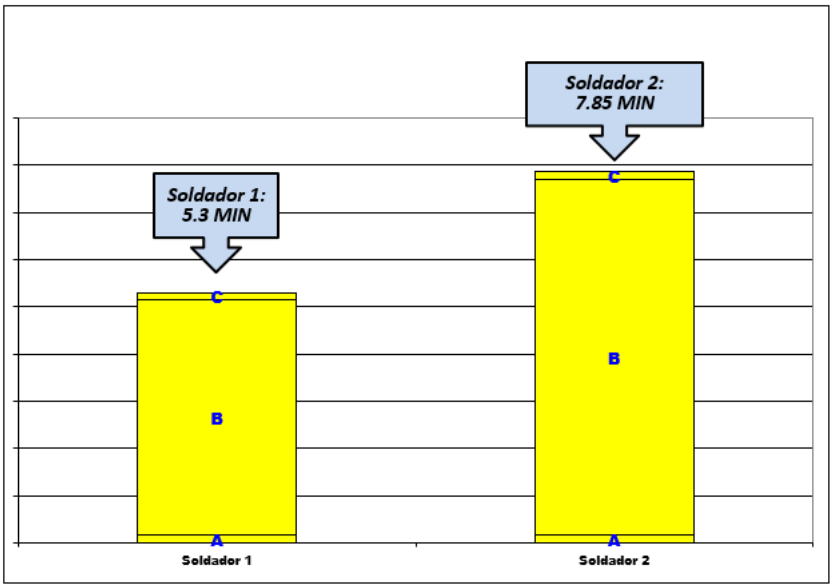
Grafica 7. Diagrama Yamazumi balanceo de limpieza de sabana

En el proceso de limpieza de sábana se consideran dos operadores. El operador 1 es responsable de colocar y retirar la sábana en la mesa de trabajo, con un tiempo de **0.32 minutos**, mientras que el operador 2 realiza la limpieza de la sábana, con un tiempo de **3.13 minutos**, dando como resultado un tiempo total de 3.45 minutos por operación. El diagrama Yamazumi muestra un desbalance en la carga de trabajo, el cual se atribuye a la naturaleza de las actividades. Como medida para mitigar este desbalance, se estableció la rotación de actividades entre los operadores, permitiendo una distribución más equitativa del esfuerzo sin afectar el tiempo del proceso.

- **Corte de oruga**

TABLERO YAMAZUMI

ÁREA:	**Plasma City**	**ESTACIÓN:**	**Hatch Ring**
No. PARTE	**N/A**	**FECHA:**	**02/01/2026**



SITUACION ANALIZADA

Tpo Total	ACTIVIDADES		SECUENCIA DE OPERACIONES		
5.30	Soldador 1	A	Toma pieza y coloca en mesa de trabajo	0.16	
		B	Corta hatch con plasma	4.98	
		C	Retira y coloca en rack	0.16	
7.85	Soldador 2	A	Toma de rack y coloca sobre mesa de trabajo		0.16
		B	Detalla corte con pulidor		7.53
		C	Retira y coloca en rack		0.16

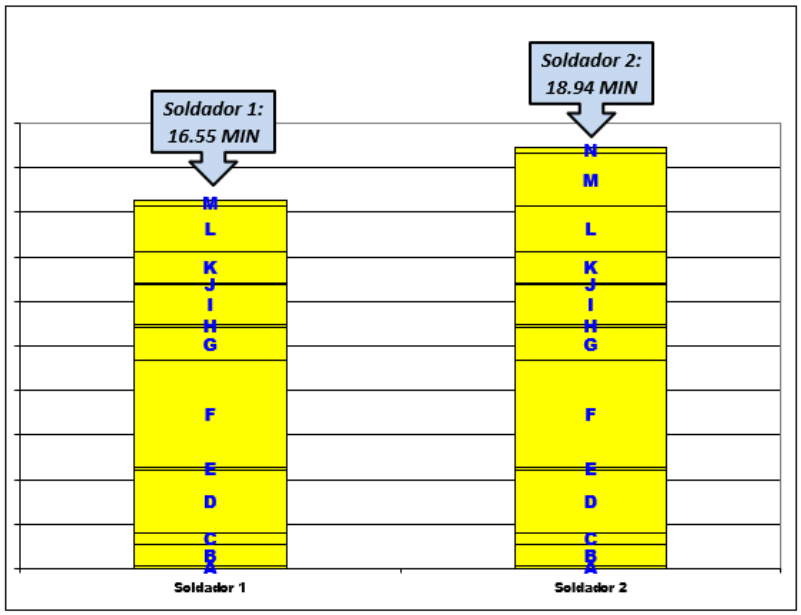
Grafica 8. Diagrama Yamazumi balanceo de corte de oruga

Para el proceso de corte de oruga, ambos operadores presentan cargas de trabajo similares. El soldador 1 se encarga de realizar el corte de la oruga mediante plasma, con un tiempo **de 5.30 minutos,** mientras que el soldador 2 es responsable de detallar el corte, eliminando rebabas y asegurando que la pieza cumpla con las especificaciones conforme a plano, con un tiempo de **7.85 minutos**. El tiempo total del proceso es de **13.15 minutos** por operación. El Yamazumi balanceado refleja una participación activa de ambos operadores, manteniendo un flujo continuo y estable en esta etapa.

- **Soldadura de ranura**

TABLERO YAMAZUMI

ÁREA:	**Plasma City**	**ESTACIÓN:**	**Hatch Ring**
No. PARTE	**N/A**	**FECHA:**	**02/01/2026**



SITUACION ANALIZADA

Tpo Total	ACTIVIDADES	SECUENCIA DE OPERACIONES			
16.55	Soldador 1	A	Toma pieza de rack y coloca en mesa de	0.10	
		B	Puntea pieza hatch ring	1.00	
		C	Coloca 4 soleras de inicio y fin de soldadura	0.50	
		D	Aplica soldadura interior	2.85	
		E	Retira escoria con espatula	0.10	
		F	Detalla soldadura en la parte exterior	4.80	
		G	Aplica primer cordon de soldadura exteriror	1.48	
		H	Retira escoria con espatula	0.10	
		I	Aplica Segundo cordon de soldadura exteriror	1.80	
		J	Retira escoria con espatula	0.10	
		K	Detalla cordon	1.38	
		L	Retira soleras de inicio y fin	2.04	
		M	Retira de mesa y coloca en racks	0.30	
18.94	Soldador 2	A	Toma pieza de rack y coloca en mesa de		0.10
		B	Puntea pieza hatch ring		1.00
		C	Coloca 4 soleras de inicio y fin de soldadura		0.50
		D	Aplica soldadura interior		2.85
		E	Retira escoria con espatula		0.10
		F	Detalla soldadura en la parte exterior		4.80
		G	Aplica primer cordon de soldadura exteriror		1.48
		H	Retira escoria con espatula		0.10
		I	Aplica Segundo cordon de soldadura exteriror		1.80
		J	Retira escoria con espatula		0.10
		K	Detalla cordon		1.38
		L	Retira soleras de inicio y fin		2.04
		M	Detalla pieza		2.39
		N	Retira de mesa y coloca en racks		0.30

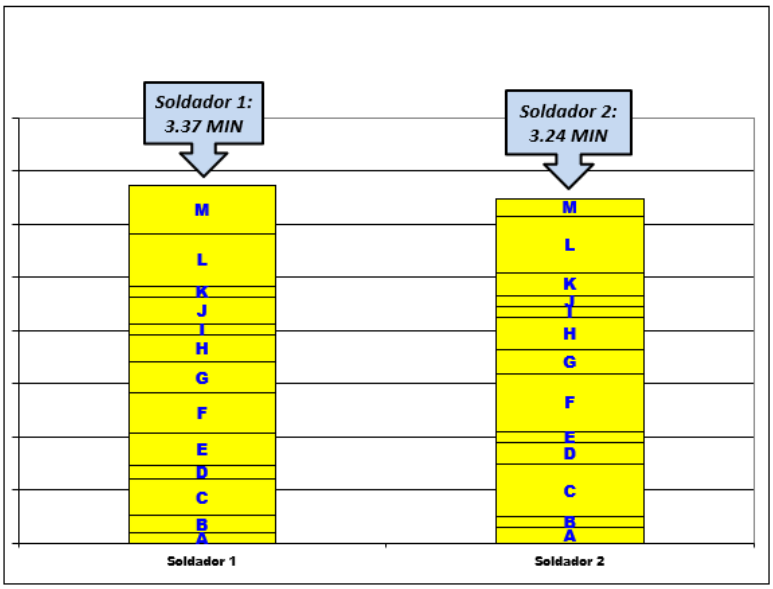
Grafica 9. Diagrama Yamazumi balanceo de soldadura de ranura

En el proceso de soldadura de ranura, el balanceo de cargas permitió integrar actividades adicionales a los dos operadores, considerando que previamente uno de los recursos no tenía participación directa en esta etapa. Posterior a la mejora, ambos soldadores realizan la **soldadura de ranura y el detallado de la pieza**, asegurando el cumplimiento de las especificaciones de diseño. El tiempo de trabajo para cada operador es de **18.94 minutos**, mostrando un Yamazumi equilibrado y una utilización eficiente de los recursos disponibles.

- **Armado del Ring Assy Hatch**

TABLERO YAMAZUMI

ÁREA:	**Plasma City**	**ESTACIÓN:**	**Hatch Ring**
No. PARTE:	**N/A**	**FECHA:**	**02/01/2026**



SITUACION ANALIZADA

Tpo Total	ACTIVIDADES		SECUENCIA DE OPERACIONES		
3.37	Soldador 1	A	Toma pieza y coloca en mesa de trabajo	0.10	
		B	Coloca primer par de orejas en plantilla	0.16	
		C	Coloca segundo par de orejas en plantilla	0.34	
		D	Ajusta posicion de segundo par de orejas	0.13	
		E	Puntea segundo par de orejas	0.30	
		F	Ajusta posicion de primer par de orejas	0.38	
		G	Puntea primer par de orejas	0.29	
		H	Retira seguro de plantillas	0.26	
		I	Retira pieza y coloca en siguiente mesa de	0.10	
		J	Toma pieza y coloca en mesa de trabajo	0.25	
		K	Coloca pieza en posicion	0.10	
		L	Detalla soldadura con turbina primer par de	0.50	
		M	Detalla soldadura con turbina segunda par	0.45	
3.24	Soldador 2	A	Coloca pieza en posicion		0.15
		B	Limpia con espatula primer par de orejas		0.10
		C	Aplica soldadura en primer par de orejas		0.50
		D	Retira escoria con espatula de primer par		0.20
		E	Limpia con espatula segundo par de orejas		0.10
		F	Aplica soldadura en segundo par de orejas		0.55
		G	Retira escoria con espatula de segundo par		0.23
		H	Marca trasabilidad con metal market		0.30
		I	Retira y coloca en siguiente mesa		0.10
		J	Retire y coloca en plantilla		0.10
		K	Ajusta pieza en plantilla		0.22
		L	Pule superficie de pieza		0.53
		M	Retira y coloca en rack de PT		0.16

Grafica 10. Diagrama Yamazumi balanceo de armado de Assy Hatch Ring

Finalmente, en el proceso de armado del Ring Assy Hatch se redistribuyeron las actividades que anteriormente realizaba un tercer soldador. El soldador 1 es ahora responsable de colocar las orejas en el anillo, realizar el punteo de soldadura para asegurar su posición y llevar a cabo el detallado final de la soldadura, con un tiempo de **3.37 minutos** por pieza. Por su parte, el soldador 2 se encarga de aplicar la soldadura completa de las orejas y de realizar el detallado de la pieza final, asegurando el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos, con un tiempo de **3.24 minutos** por pieza. El Yamazumi balanceado de esta etapa muestra una distribución más uniforme de la carga de trabajo, eliminando tiempos muertos y fortaleciendo la eficiencia del proceso.

En conjunto, los diagramas Yamazumi balanceados permiten visualizar una mejor utilización del personal, una reducción de desperdicios por tiempos improductivos y un proceso más robusto, capaz de responder tanto a la demanda actual como a posibles incrementos futuros en el volumen de producción.

8.18 Evaluación de resultados finales

Como resultado del desarrollo del presente proyecto, se logró evaluar de manera integral el desempeño de la estación de trabajo destinada a la fabricación interna del Ring Assy Hatch, considerando desde su diseño, implementación, arranque, estandarización y mejora, hasta la validación final de su capacidad productiva mediante el balanceo de cargas de trabajo.

Durante la fase de diseño e implementación de la estación, se integraron los equipos necesarios para internalizar el proceso productivo, tales como la sierra cinta, el equipo Beckwood y el área de armado, permitiendo dejar de depender de proveedores externos para la adquisición de estas piezas. Esta decisión estratégica generó beneficios directos en términos de costos, tiempos de entrega, flexibilidad operativa y control del proceso, además de fortalecer las capacidades internas de manufactura.

Posteriormente, mediante la elaboración y análisis de diagramas Yamazumi, se identificaron áreas de oportunidad relacionadas con tiempos muertos, desbalance en las cargas de trabajo y una utilización no óptima del personal, particularmente en la estación de armado del Ring Assy Hatch. A partir de este análisis, se implementó un balanceo de cargas, el cual permitió reducir un operador por turno, redistribuyendo sus actividades entre los operadores restantes sin comprometer la calidad ni la seguridad del proceso.

Con el balanceo implementado, el proceso quedó conformado por cuatro operaciones principales: limpieza de sábana, corte de oruga, soldadura de ranura y armado del Assy Hatch Ring. Los nuevos tiempos por pieza obtenidos son los siguientes:

- Limpieza de sábana: 0.58 min/pza
- Corte de oruga: 2.19 min/pza
- Soldadura de ranura: 3.16 min/pza
- Armado de Assy Hatch Ring: 3.37 min/pza

Lo anterior da como resultado un tiempo ciclo total de 9.29 minutos por pieza. Si bien este tiempo es ligeramente mayor al tiempo ciclo previo de 7.92 minutos, es importante destacar que dicho incremento se logró eliminando un operador por turno, lo que representa una mejora significativa en la eficiencia del uso de mano de obra.

De acuerdo con el análisis de capacidad, para cubrir la demanda diaria actual de 50 piezas, se requiere un tiempo total aproximado de 464 minutos, mientras que el tiempo disponible por turno es de 490 minutos, lo que genera un tiempo sobrante de 25.33 minutos por turno. Esto confirma que con un solo turno y dos soldadores es posible cumplir con la demanda diaria, y que el segundo turno puede destinarse a la fabricación de piezas para inventario o para atender un posible incremento en la demanda.

Adicionalmente, esta capacidad excedente permite considerar de manera viable el proyecto de suministro de piezas a una empresa hermana en otro estado, sin afectar el cumplimiento de la demanda interna, otorgando mayor flexibilidad y potencial de crecimiento al área.

Finalmente, al fabricar el Ring Assy Hatch de manera interna, se logró eliminar la compra de piezas a proveedores externos, lo que se traduce en ahorros económicos directos, reducción de tiempos de suministro, eliminación de riesgos por desabasto y un mayor control sobre la calidad del producto. Estos beneficios, sumados a la optimización del recurso humano y a la estandarización del proceso, confirman que los objetivos planteados al inicio del proyecto fueron alcanzados de manera satisfactoria.

En conclusión, el proyecto demuestra que la implementación de una estación de trabajo interna, acompañada de un análisis estructurado de tiempos y balanceo de cargas, permite mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y preparar al proceso para futuros escenarios de crecimiento, consolidando una solución sostenible y alineada a las necesidades estratégicas de la organización.

9. RESULTADOS

Como resultado del desarrollo del proyecto, se logró la diseño, implementación y puesta en marcha de una estación de trabajo integral para la fabricación interna del Assy Hatch Ring, partiendo desde la fase de análisis y planeación hasta la optimización del proceso productivo mediante herramientas de mejora continua.

Inicialmente, se realizó el diseño del Layout de la estación de trabajo, considerando la ubicación estratégica de los equipos principales, así como de las áreas auxiliares de materia prima, producto terminado y producto no conforme, priorizando criterios de seguridad, ergonomía y flujo del proceso. Posteriormente, se llevó a cabo la instalación y ubicación de los equipos, incluyendo la descarga controlada del equipo Beckwood y su alineación conforme a las marcas previamente definidas, asegurando su correcta integración al área productiva.

Una vez instalada la estación, se procedió con el arranque del proceso y la fabricación de piezas piloto, las cuales fueron validadas por el área de Calidad, permitiendo confirmar que las piezas cumplían con las especificaciones establecidas en plano. A partir de esta validación, se realizó la observación directa del proceso y la toma de tiempos de las operaciones clave, tales como limpieza de sábana, corte de oruga, soldadura de ranura y armado del Assy Hatch Ring, lo que permitió caracterizar el desempeño real de la estación.

Con la información obtenida, se elaboraron diagramas Yamazumi por proceso, lo que permitió identificar desbalances en la carga de trabajo, tiempos muertos y oportunidades de mejora, particularmente en la estación de armado. Derivado de este análisis, se implementó un balanceo de cargas de trabajo, logrando reducir un operador por turno sin comprometer la capacidad productiva ni la calidad del producto. Este ajuste permitió redistribuir actividades entre los operadores restantes, incrementando la eficiencia del proceso y mejorando el aprovechamiento del recurso humano.

Como resultado del balanceo, el proceso quedó conformado por cuatro operaciones principales, alcanzando un tiempo ciclo total de **9.29 minutos** por pieza, el cual permite cumplir con la demanda diaria de **50 piezas** en un solo turno, manteniendo además tiempo disponible para contingencias o incrementos en la demanda. Adicionalmente, al contar con dos turnos operativos, se genera la capacidad suficiente para fabricar piezas destinadas a stock o para un posible suministro a una empresa hermana, fortaleciendo la flexibilidad operativa de la planta.

Tiempo disponible x turno
490

Tabla 18. Tiempo disponible por turno

Proceso	Tiempo x pz (Min)	40 pz (Min)	50 pz (Min)	60 pz (Min)
Limpieza de sabanas	0.58	23.00	28.75	34.50
Corte de oruga	2.19	87.67	109.58	131.50
Soldado de ranura	3.16	126.27	157.83	189.40
Armado de Assy Hatch Ring	3.37	134.80	168.50	202.20
Tiempo total	**9.29**	371.73	464.67	557.60
		118.27	25.33	-67.60
		Tiempo disponible por turno - Tiempo total		

Tabla 19. Tiempo de proceso por pieza balanceado

Desde el punto de vista económico, uno de los resultados más relevantes del proyecto es el ahorro generado al fabricar internamente el Assy Hatch Ring, eliminando la necesidad de compra externa del componente. Este cambio impacta positivamente en la reducción de costos unitarios, gastos logísticos y dependencia de proveedores, además de mejorar el control del proceso productivo y los tiempos de entrega. En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que el proyecto no solo permitió internalizar la fabricación de un componente crítico, sino que también logró optimizar recursos, mejorar la eficiencia operativa y fortalecer la capacidad productiva de la planta.

10. CONCLUSIONES

10.1 CONCLUSIONES DE PROYECTO, RECOMENDACIONES Y EXPERIENCIA PERSONAL PROFESIONAL ADQUIRIDA

El desarrollo del presente proyecto permitió demostrar que, mediante una adecuada aplicación de herramientas de **ingeniería industrial y mejora continua**, es posible diseñar, implementar y optimizar una estación de trabajo capaz de cumplir con los requerimientos de producción, calidad y seguridad establecidos por la organización. A lo largo del proyecto se abordaron todas las etapas clave, desde el análisis inicial y el diseño del Layout, hasta la implementación del proceso productivo y su posterior optimización mediante el balanceo de cargas de trabajo.

Una de las principales conclusiones es que la **fabricación interna del Assy Hatch Ring** representa una solución viable y sustentable para la planta, ya que no solo se logró cumplir con la demanda diaria requerida, sino que además se obtuvo **una** mejora significativa en la eficiencia operativa, una reducción en el uso de recursos humanos y un impacto positivo en los costos**,** al eliminar la dependencia de proveedores externos. El balanceo de cargas realizado en la estación de armado permitió reducir un operador por turno sin afectar la productividad ni la calidad del producto, confirmando la importancia de analizar detalladamente la distribución de actividades y tiempos en cada proceso.

Asimismo, el uso de herramientas como la toma de tiempos, diagramas Yamazumi y análisis de capacidad resultó fundamental para identificar desperdicios, tiempos muertos y oportunidades de mejora. Estas herramientas facilitaron la toma de decisiones basadas en datos reales del proceso, permitiendo proponer e implementar mejoras con sustento técnico y cuantificable. Los resultados obtenidos validan que el tiempo ciclo alcanzado es suficiente para cumplir con la demanda actual y, adicionalmente, brinda la posibilidad de atender incrementos futuros, incluyendo la fabricación de piezas para stock o para una empresa hermana.

Como recomendación, se sugiere dar seguimiento periódico a los tiempos del proceso, especialmente en la estación de armado, con el fin de asegurar que el balanceo de cargas se mantenga efectivo a lo largo del tiempo. De igual manera, se recomienda estandarizar formalmente las operaciones mediante la actualización constante de la Hoja de Trabajo Estándar (HTE) y capacitar al personal operativo para asegurar la correcta ejecución del proceso y la conservación de las mejoras implementadas. Finalmente, se considera conveniente continuar con la evaluación de oportunidades para automatizar o semi automatizar ciertas operaciones, en caso de que la demanda aumente de forma significativa.

Desde el punto de vista personal y profesional, este proyecto representó una experiencia altamente enriquecedora, ya que permitió aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos durante la carrera de ingeniería, enfrentando situaciones reales de la industria. A lo largo del desarrollo del proyecto se fortalecieron competencias como el análisis de procesos, trabajo en equipo, comunicación con áreas multidisciplinarias, toma de decisiones basada en datos y gestión de proyectos. Asimismo, se adquirió una mayor comprensión del impacto que tiene la ingeniería industrial en la mejora de la productividad, la reducción de costos y la optimización de recursos dentro de una organización.

En conclusión, el proyecto cumplió con los objetivos planteados tanto a nivel académico como empresarial, aportando valor a la organización y contribuyendo al desarrollo profesional, dejando además una base sólida para futuras mejoras y proyectos de optimización en el área productiva.

11. COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Durante el desarrollo del proyecto de residencias profesionales se fortalecieron y desarrollaron diversas competencias técnicas, metodológicas y personales, las cuales resultan fundamentales para el desempeño profesional dentro del ámbito industrial. La participación activa en cada una de las etapas del proyecto permitió aplicar conocimientos teóricos en un entorno real de trabajo, favoreciendo un aprendizaje integral y práctico.

En el ámbito técnico, se desarrollaron competencias relacionadas con el análisis y mejora de procesos productivos, mediante la aplicación de herramientas de ingeniería industrial como el diseño de Layout, estudios de tiempos y movimientos, diagramas Yamazumi, balanceo de cargas de trabajo y análisis de capacidad. Asimismo, se adquirió experiencia en la elaboración de documentación operativa, tales como Hojas de Trabajo Estándar (HTE) y Hojas de Empaque (HE), asegurando la estandarización de los procesos y el cumplimiento de los requisitos de calidad y seguridad.

En cuanto a las competencias analíticas, se fortaleció la capacidad para interpretar datos reales del proceso, identificar desperdicios, evaluar tiempos muertos y proponer mejoras basadas en información cuantitativa. El análisis de escenarios productivos permitió tomar decisiones orientadas a la optimización de recursos, reducción de costos y cumplimiento de la demanda, considerando siempre las restricciones operativas y de seguridad.

Finalmente, en el aspecto personal y profesional, se reforzaron competencias como la responsabilidad, adaptabilidad, iniciativa, pensamiento crítico y compromiso con la mejora continua. La experiencia adquirida durante el proyecto contribuyó al desarrollo de una visión integral del entorno industrial, fortaleciendo la preparación del residente para su incorporación al ámbito laboral y su desempeño futuro como profesionista en el área de ingeniería y mejora continua.

12. FUENTES DE INFORMACIÓN

- Párraga V., M., (2003). Diseño correcto de la estación de trabajo. Industrial Data, 6(1), 95-98.
- Rodríguez, H. G. (2017). *Rediseño de una estación de trabajo considerando la ergonomía para incrementar la productividad*. Universidad de Guanajuato. Recuperado de: http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/3375
- Significados, Equipo (29/12/2023). "Layout". En: *Significados.com*. Recuperado de: https://www.significados.com/layout/
- Hansen, Z. (2010, November 17). *What is a make-or-buy decision?* Investopedia. Recuperado de: https://www.investopedia.com/terms/m/make-or-buy-decision.asp
- Accountingverse. (2022, April). *Make or buy decision.* Recuperado de: https://www.accountingverse.com/managerial-accounting/relevant-costing/make-or-buy.html
- Alhmiari, A. M. A. A., & Albaheery, A. A. M. S. (2020). *The impact of applying lean manufacturing fundamentals on the improvement of manufacturing performance: A case study at the Yemeni National Company for Sponge and Plastic Industry.* Management & Economics Research Journal, 2(5), 21-38. https://doi.org/10.48100/merj.vi.138
- Nievel, B., Freivalds A. (2009). ingeniería Industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo. México, D.F.: McGRAW-HILL.

13. ANEXOS

GREENBRIER Tlaxcala

Gunderson Concarril S. de R.L. de C.V. A GREENBRIER COMPANY

Tetla de la Solidaridad, Tlaxcala, a 23 de enero del 2026

Asunto: Constancia de NO inconveniencia.

DRA. YESICA IMELDA SAAVEDRA BENITEZ
DIRECTORA DEL INSTITUTO TECNOLOGICO DE APIZACO
P R E S E N T E

Por este conducto me permito informar a usted que la alumno **C. TANECO VASQUEZ JOSE EDUARDO** estudiante de la carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**, con el **número de control 21370597 , NO** se tiene inconveniencia en que utilice la información del proyecto denominado **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIÓN DE TRABAJO BECKWOOD."** desarrollado para su proyecto, durante el periodo comprendido del 28 de julio del año 2025 al 23 de Enero del 2026**,** cumpliendo un total de 500 horas.

Sin otro particular, se extiende la presente para los fines que al interesado convenga.

A T E N T A M E N T E

GREENBRIER Tlaxcala RECURSOS HUMANOS

Ing. Jesús Ramírez Mendoza
Supervisor de atracción de talento
Greenbrier Tlaxcala

Boulevard Emilio Sánchez Piedras #108, Ciudad Industrial Xicoténcatl I 90434, Tetla de la Solidaridad, Tlaxcala, México
Tel. 01 24141 84560 ext. 631202, 631207