



EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL IMPACTO DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL REBABADO EN LA REESTRUCTURACIÓN OPERATIVA DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN AUTOMOTRIZ

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN

Ingeniería Industrial

Universidad Nacional de Tucumán

López García, Felicitas Ramona

Tutor: Ing. Juan Alberto Marchese

2025

RESUMEN

El presente trabajo analiza el impacto organizacional, operativo y económico derivado de la automatización del proceso de rebabado en la línea de producción de carcasas para diferenciales de una empresa automotriz ubicada en la localidad de Colombres, Tucumán.

La línea estudiada cuenta con nueve centros de mecanizado, cada uno a cargo de un operador, donde las carcasas requieren de un rebabado conforme a las exigencias de planos técnicos, donde no se permiten bordes filosos. El proceso de mecanizado actual no elimina por completo las rebabas de las piezas, lo que obliga a que cada operario realice manualmente esta operación utilizando herramientas específicas. Esta tarea, que representa cerca del 30% de la jornada laboral de los operarios, además de generar riesgos ergonómicos y de seguridad, ha generado inconvenientes en la calidad final del producto, incluyendo rechazos internos y reclamos por parte de los clientes.

Frente a esta situación, la empresa ha decidido incorporar una celda con un robot automático de rebabado, eliminando esta tarea del alcance de los operarios y abriendo la posibilidad de reorganizar la asignación de recursos humanos en la línea. El objetivo del proyecto es analizar la factibilidad técnica y económica de esta reorganización operativa, identificando oportunidades de optimización de la dotación y mejora en la eficiencia global del proceso.

La metodología aplicada para evaluar esta reorganización incluyó observaciones directas para relevar el proceso productivo actual, medición de tiempos de ciclo, elaboración de diagramas Hombre-Máquina, cálculo de índices de ocupación del operario y rediseño del layout.

A partir del análisis técnico de la situación actual y del escenario futuro con la automatización, se propusieron esquemas alternativos de asignación de la dotación de los centros, y se evaluó su viabilidad mediante nuevos estudios de tiempos y simulaciones de flujo, en términos de carga laboral y productividad.

Finalmente, se desarrolló un análisis económico-financiero que permitió cuantificar los ahorros potenciales derivados de la optimización de la dotación y calcular indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión. Los resultados obtenidos demuestran que la automatización del rebabado genera beneficios si se implementa junto con una adecuada optimización de la dotación, logrando mejoras significativas en términos de seguridad, productividad y eficiencia global del proceso productivo.

Palabras clave: centro de mecanizado, viruta, carcasas, tiempo de ciclo, rebabado, layout.

Agradecimientos

Al concluir el desarrollo de mi Proyecto Final de Graduación me gustaría agradecer a todas aquellas personas que fueron parte de este camino.

A mi familia por acompañarme en cada paso y decisión, y por siempre alentarme a seguir adelante. A mi novio, por cada palabra de aliento y apoyo incondicional.

A mis amigas, por estar presentes en todo momento y por recordarme siempre disfrutar del proceso.

A mis compañeros de cursado, que hoy son amigos que me llevo para la vida, que hicieron que las largas horas de estudio sean mucho más llevaderas. Sin dudas, la carrera no hubiese sido la misma sin ellos.

A mis compañeros y colegas de Scania, especialmente al equipo de Ingeniería de Proyectos y a los operarios de la línea de carcasas, por su colaboración y por brindarme la oportunidad de aprender en un entorno profesional tan enriquecedor.

También quiero agradecer a la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, que me brindó una sólida formación académica y me permitió enfrentar desafíos que solo se pueden superar con valores que aprendí en la institución, como la responsabilidad y la perseverancia.

Agradezco a mi tutor el Ing. Juan Alberto Marchese, por acompañarme en el desarrollo de este proyecto y por estar siempre dispuesto a ayudarme y darme consejos.

Y me agradezco a mí, por mi voluntad, perseverancia y por nunca bajar los brazos.

Este proyecto marca el cierre de mi etapa universitaria, una etapa que me llena de orgullo y que me impulsa a seguir aprendiendo y creciendo profesionalmente dentro del ámbito de la ingeniería.

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
Agradecimientos	3
INDICE DE FIGURAS.....	5
INDICE DE TABLAS	6
INDICE DE ANEXOS.....	7
INTRODUCCIÓN	8
1.1 Contexto	8
1.2 Diferenciales: componentes y breve descripción	9
1.3 Producción de carcasas.....	12
1.3.1 Especificaciones.....	12
1.3.2 Proceso de fabricación	13
1.3.3 Layout actual de la línea.....	21
1.3.4 Problemática por resolver.....	21
MARCO TEÓRICO	25
2.1 Centro de mecanizado CNC	25
2.2 Estudio del trabajo	26
2.2.1 Estudio de métodos.....	26
2.2.2 Medición del trabajo	27
2.3 Herramientas para el estudio del proceso.....	28
2.3.1 Tiempo de ciclo (TC) vs Tiempo TAKT (TT)	28
2.3.2 Diagrama Hombre – Máquina.....	30
2.3.3 Índice de ocupación del operador	30
2.3.4 Ciclo del operador	31
RELEVAMIENTO SITUACIÓN ACTUAL.....	33
3.1 Estudio de métodos y medición del trabajo llevados a la práctica	34
3.1.1 Selección del proceso a analizar	34
3.1.2 Registro y examen de actividades	34
3.1.3 Toma de tiempos.....	36

3.1.4 Establecimiento de métodos.....	38
3.2 Análisis técnico del impacto de la automatización:.....	48
PROPUESTAS DE OPTIMIZACIÓN DE LA DOTACIÓN	51
4.1 Situación actual de la dotación	51
4.2 Propuesta 1: Esquema de un operario cada 3 Centros de Mecanizado	53
4.3 Propuesta 2: Esquema de un operario cada 2 Centros de Mecanizado	55
4.4 Evaluación de las alternativas propuestas	57
VALIDACIÓN DE LA SEGUNDA PROPUESTA	59
5.1 Definición del nuevo método.....	59
5.1.1 Elaboración diagrama Hombre – Máquina del conjunto.....	59
5.1.2 Cálculo del Índice K del conjunto	64
5.1.3 Ciclo del operador del conjunto	65
5.2 Consideraciones operativas para la implementación	67
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	69
6.1 Análisis económico de los escenarios considerados.....	69
6.2 Análisis financiero.....	71
6.2.2 Indicadores financieros.....	73
6.2.3 Interpretación de los resultados.....	74
CONCLUSIONES	76
ANEXOS.....	77
REFERENCIAS/ BIBLIOGRAFIA.....	98

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Diferencial de un camión.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2: Modelado 3D de la carcasa PN866.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3: Plano final de la carcasa PN866</i>	<i>13</i>
<i>Figura 4: Flujo actual de la línea de carcasas</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5: Flujo de mecanizado en centro SSA1813.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 6: Cajón con brutos.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7: Pieza colgada mediante gancho</i>	<i>16</i>

<i>Figura 8: Rebabado de contorno de tapas</i>	<i>17</i>
<i>Figura 9: Montaje de tapas de bancada</i>	<i>17</i>
<i>Figura 10: Control dimensional de diámetros</i>	<i>18</i>
<i>Figura 11: Soplado de restos de viruta en pieza mecanizada</i>	<i>18</i>
<i>Figura 12: Pieza descargada en mesa de rebabado</i>	<i>18</i>
<i>Figura 13: Rebabado manual.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 14: Cajón de piezas terminadas.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 15: Layout actual de la línea de carcasas</i>	<i>21</i>
<i>Figura 16: Vista general del layout futuro de la línea de carcasas.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 17: Vista detallada de la zona automatizada en el layout futuro</i>	<i>23</i>
<i>Figura 18: Imagen de un centro de mecanizado</i>	<i>25</i>
<i>Figura 19: Funcionamiento de pallets dentro de un Centro de Mecanizado CNC.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 20: Ejemplo de un diagrama Hombre - Máquina donde $TT > TC$</i>	<i>29</i>
<i>Figura 21: Ejemplo de un diagrama de hilos</i>	<i>31</i>
<i>Figura 22: Diagrama Hombre – Máquina del centro de mecanizado SSA1813</i>	<i>45</i>
<i>Figura 23: Ciclo del Operador del centro de mecanizado SSA1813.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 24: Diagrama Hombre – Máquina sin rebabado del centro de mecanizado SSA1813</i>	<i>49</i>
<i>Figura 25: Distribución actual de los operarios en la línea de carcasas.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 26: Distribución del personal en el sector de la celda automatizada.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 27: Layout propuesto con siete Centros de Mecanizado activos.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 28: Distribución de operarios por Centro de Mecanizado según el primer esquema propuesto.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 29: Distribución de operarios por Centro de Mecanizado según el segundo esquema propuesto.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 30: Diagrama Hombre - Máquina del conjunto SSA1813 & SSA1812</i>	<i>61</i>
<i>Figura 31: Diagrama Hombre- Máquina del conjunto SSA1813 & SSA1812 modificado</i>	<i>64</i>
<i>Figura 32: Ciclo del operador del conjunto de máquinas SSA1813 & SSA1812.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 33: Resumen gráfico del análisis financiero del escenario 1</i>	<i>75</i>
<i>Figura 34: Resumen gráfico del análisis financiero del escenario 2</i>	<i>75</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Matriz cruzada de los artículos PN que se producen en cada CM, con sus respectivos TC.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 2: Lista de actividades manuales llevadas a cabo por los operarios del centro de mecanizado SSA1813.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 3: Tabla comparativa de tiempos.....</i>	<i>37</i>

<i>Tabla 4: Desglose del tiempo de ciclo utilizado en el estudio del año 2023.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5: Tiempos de las actividades consideradas para el cálculo del tiempo de ciclo utilizado en el estudio del año 2023</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 6: Tiempos de las actividades consideradas para el nuevo cálculo del tiempo de ciclo</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 7: Desglose del nuevo tiempo de ciclo</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 8: Recorte de la tabla base utilizada para la posterior elaboración del Diagrama Hombre - Máquina del centro de mecanizado SSA1813</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 9: Tabla del conjunto de máquinas correspondiente a la primer propuesta con sus respectivos PNs y TCs.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 10: Tabla del conjunto de máquinas correspondiente a la segunda propuesta con sus respectivos PNs y TCs.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 11: Flujo de caja del escenario 1 proyectado a 10 años</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 12: Flujo de caja del escenario 2 proyectado a 10 años</i>	<i>72</i>

INDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1: Hoja de instrucción para montaje de tapas de bancada</i>	<i>77</i>
<i>Anexo 2: Hoja de instrucciones para rebabado manual</i>	<i>77</i>
<i>Anexo 3: Tabla base utilizada para la posterior elaboración del Diagrama Hombre - Máquina del centro de mecanizado SSA1813</i>	<i>78</i>
<i>Anexo 4: Tabla base utilizada para la posterior elaboración del Diagrama Hombre - Máquina sin rebabado del centro de mecanizado SSA1813.....</i>	<i>79</i>
<i>Anexo 5: Tabla base utilizada para el diagrama H-M del conjunto SSA1813 & SSA1812 ...</i>	<i>80</i>
<i>Anexo 6: Tabla base modificada utilizada para el diagrama H-M del conjunto SSA1813 & SSA1812.....</i>	<i>82</i>
<i>Anexo 7: Simulación de flujo del conjunto de máquinas SSA1813 & SSA1812.....</i>	<i>84</i>

INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto

El presente trabajo se desarrolla en una planta industrial de mecanizado situada en la comuna rural de Colombres, en el departamento de Cruz Alta, provincia de Tucumán. Allí se mecanizan numerosas familias de piezas que conforman la transmisión de camiones y autobuses.

En específico, la planta produce componentes destinados a las cajas de cambio y a los diferenciales de los camiones. El taller recibe piezas de acero forjado, fundición o sinterizado en condición de bruto, provenientes de distintos proveedores europeos, nacionales o de Brasil. Estos brutos se someten a procesos de mecanizado de última generación, cuyo objetivo es otorgar a cada pieza la geometría y características requeridas conforme a los planos de diseño.

En la mayoría de los casos, el proceso de fabricación se divide en tres etapas principales: mecanizado en blando, tratamiento térmico y mecanizado en duro. Se entiende por mecanizado en blando a las operaciones realizadas antes del tratamiento térmico, mientras que el mecanizado en duro corresponde a las etapas posteriores. El paso por hornos de cementación, temple o revenido permite a las piezas adquirir propiedades mecánicas y químicas como dureza, resistencia, mayor concentración superficial de carbono o reducción de tensiones internas, entre otras.

Sin embargo, existen algunas familias de piezas que no siguen este flujo productivo, ya que no requieren tratamiento térmico. Tal es el caso de las **carcasas de engranajes centrales (CGH)**, pertenecientes a los diferenciales, que se fabrican exclusivamente mediante procesos de mecanizado, sin necesidad de someterse a los hornos de tratamiento.

En el marco de este proyecto, se propone analizar la línea de producción de carcasas, con especial énfasis en las operaciones críticas del proceso. El objetivo principal es evaluar el impacto de la incorporación de soluciones de automatización en el proceso de rebabado, considerando su influencia en la reestructuración operativa de la línea, la optimización de recursos y la mejora en la eficiencia global de la línea.

De esta manera, el trabajo busca aportar una visión integral sobre los beneficios y desafíos que implica la modernización tecnológica en un componente estratégico de la transmisión, contribuyendo a fortalecer la competitividad y la sustentabilidad de la empresa automotriz.

1.2 Diferenciales: componentes y breve descripción

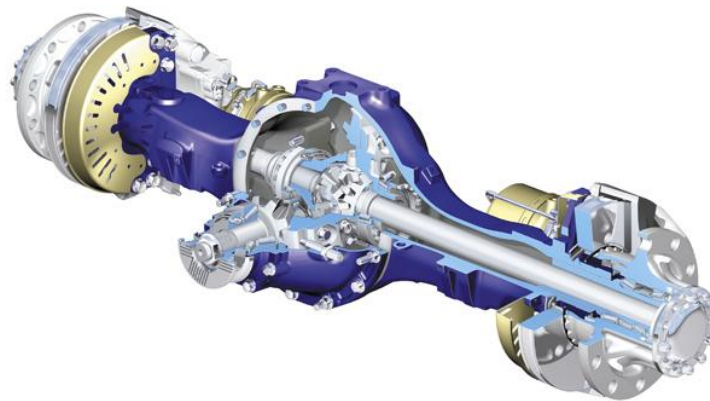


Figura 1: Diferencial de un camión

El diferencial de un camión es un componente clave que permite la transmisión de potencia del motor a las ruedas, asegurando una tracción óptima y un rendimiento eficiente.

- **Diseño y Variedad:** la industria ofrece una amplia gama de diferenciales para adaptarse a diversas necesidades operativas. Estos diferenciales están diseñados para ser robustos y optimizados en peso.
- **Capacidad de carga:** Los diferenciales pueden soportar pesos brutos de vehículo y remolque de hasta 78 toneladas, dependiendo del modelo.
- **Diferentes modelos:** Los diferenciales vienen con una variedad de modelos con diferentes relaciones de transmisión que van desde 1,95 hasta 5,57, lo que permite optimizar el rendimiento del vehículo según las condiciones de operación.
- **Bloqueo de Diferencial:** Todos los diferenciales de la empresa están equipados con bloqueos de diferencial, lo que mejora la tracción en condiciones difíciles.
- **Eficiencia y Fiabilidad:** Los diferenciales están diseñados para ofrecer una alta eficiencia y fiabilidad, reduciendo los costos operativos y el tiempo de inactividad del vehículo.

Un diferencial está conformado por distintos componentes que trabajan en conjunto para permitir que las ruedas de un mismo eje giren a distinta velocidad, especialmente en curvas, garantizando estabilidad y eficiencia en el vehículo.

A continuación, se describe de forma breve dichos componentes:

Carcasa:

Es la estructura que contiene y protege todos los componentes internos del diferencial (descritos a continuación). La carcasa está diseñada para ser robusta y resistente, ya que debe soportar grandes fuerzas y tensiones. Generalmente, está hecha de fundición nodular.

El proceso de fabricación de estas carcasas se realiza en centros de mecanizados, con distintas operaciones de fresados, perforados, roscados y alesados.

Piñón:

El piñón es una pieza esencial en el sistema de transmisión, encargada de transmitir la potencia del eje de transmisión al diferencial, permitiendo que las ruedas giren. Está fabricado de acero de alta resistencia, como el acero al carbono o aleaciones de acero, debido a su capacidad para soportar grandes cargas y tensiones. El diseño del piñón en un camión de la empresa contiene dientes helicoidales que permiten un engrane más suave y silencioso, ideal para aplicaciones que requieren una operación más eficiente y menos ruidosa.

El proceso de fabricación del piñón comienza con el mecanizado de los diámetro en tornos con doble torreta (la pieza se sujeta con sistema de punto y contra punto), con una sola máquina se logra el mecanizado completo para alcanzar las tolerancias precisas necesarias en mocas pasadas. Luego se mecanizan los dientes en máquinas creadoras, mediante fresas tipo "cuchillas pentac" con corte en seco. Luego pasan por una máquina que rebaba los cantos vivos de los dientes. Finalmente, se aplica un tratamiento térmico para endurecer la superficie de los dientes del piñón, aumentando su resistencia al desgaste y prolongando su vida útil.

Corona:

Su función principal es recibir el par motor del piñón y transmitir dichas fuerzas a una pieza denominada "porta corona", esta última pieza es la encargada de albergar, y transmitir las fuerzas, a los engranajes planetarios y satélites, permitiendo que las ruedas giren a diferentes velocidades.

La corona está fabricada generalmente de acero de alta resistencia como ser de acero al Cr-Mo para soportar las grandes fuerzas y tensiones a las que está sometida. Su diseño incluye dientes helicoidales que engranan con los del piñón.

El proceso de fabricación de la corona comienza con el mecanizado en bruto de la pieza, en un torno con doble husillo y doble torreta para asegurar tolerancias precisas en pocas pasadas, estas torretas son motorizadas para agregar operaciones como la del perforado, roscado, alesado y fresado con herramientas rotativas. Luego se mecanizan los dientes y se rebaban los cantos vivos al igual que el piñón. Estas piezas son sometidas a un tratamiento térmico para endurecer la superficie de los dientes y aumentar su resistencia al desgaste. Luego es mecanizada en duro para obtener medidas finales en sus diámetros en tornos con insertos de punta CBN (nitruro de boro cúbico). Finalmente, los dientes son rectificadas para obtener rugosidades super finas en sus superficies.

Porta corona:

Su función principal es mantener la corona en su lugar y asegurar que los engranajes del diferencial funcionen correctamente. Contiene los engranajes satélites y planetarios, que permiten que las ruedas giren a diferentes velocidades cuando el camión toma una curva. Se dividen en dos piezas distintas:

1. Mitad Porta Corona de acero: mecanizada en su totalidad por medio de una única máquina con dos estaciones. Cada estación contiene un husillo y una torreta motorizada. En estas estaciones la pieza es torneada, perforada y brochada (por medio de una fresa y un tercer husillo secundario en dirección al eje y para darle medidas y tolerancias precisas.
2. Mitad porta corona de fundición: el tipo de material a mecanizar es fundición del tipo nodular, la corona se asienta en esta pieza de forma abulonada. El proceso de mecanizado es por medio de dos máquina homologadas como tornos, cada una contiene un husillo y una torreta. En el caso de los diferenciales Scania, esta pieza de fundición se acopla, por medio de un eje estriado, al palier del diferencial. Este trabajo se basa sobre el mecanizado de las estrías internas de esta pieza (última operación del proceso de mecanizado), por medio de una herramienta y proceso especial.

Engranajes Satélites y Planetarios:

Su función principal es permitir que las ruedas giren a diferentes velocidades, especialmente en curvas. Están fabricados generalmente de acero de alta resistencia para soportar las tensiones y cargas. Los planetarios giran alrededor de un engranaje central llamado sol y están alojados dentro de las piezas de mitad porta corona descritas anteriormente. Los planetarios son cruciales para el funcionamiento del diferencial, ya que facilitan el movimiento diferencial entre las ruedas, mejorando la tracción y la estabilidad del camión. Estas piezas no son fabricadas en la planta de Tucumán.

Palieres:

Transmiten el movimiento desde el diferencial a las ruedas. Están fabricados de acero de alta resistencia para soportar las tensiones y cargas. Cada diferencial tiene dos palieres, uno para cada rueda motriz. En la actualidad, estas piezas no se fabrican en la planta de Tucumán.

1.3 Producción de carcasas

Este proyecto se llevó a cabo en la línea de carcasas, que pertenece al área de producción de diferenciales de la fábrica ubicada en Tucumán. Específicamente se trabajó en la producción de la pieza denominada PN866 (Figura 2), perteneciente al diferencial R780. El material de estas piezas es fundición nodular.



Figura 2: Modelado 3D de la carcasa PN866

1.3.1 Especificaciones

Se muestra a continuación una imagen del plano final de la pieza (Figura 3). El plano final es un documento donde se especifican todos los requerimientos que debe cumplir cualquier pieza luego de todo el proceso de fabricación. En estos requerimientos se encuentran la forma final de la pieza con sus tolerancias, propiedades de dureza, rugosidad, parámetros de dentados, limpieza de la pieza, tipo de acero, entre otros.

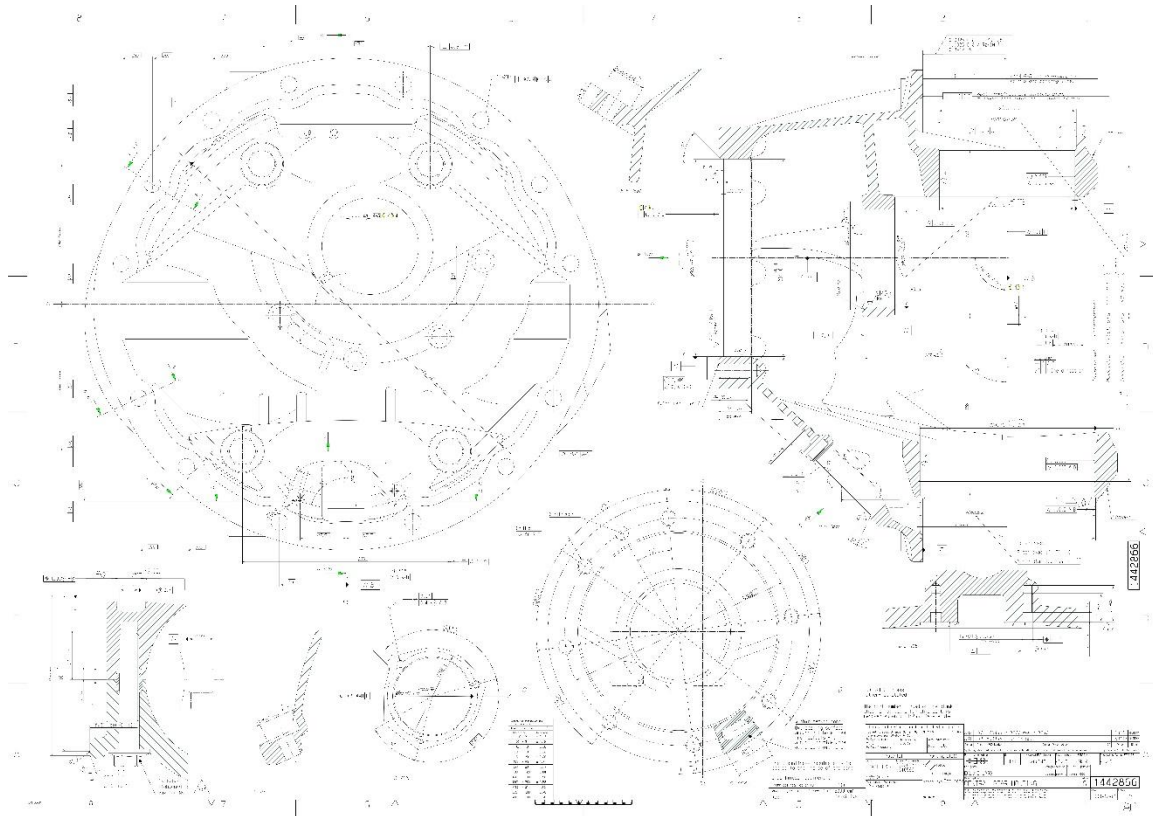


Figura 3: Plano final de la carcasa PN866

1.3.2 Proceso de fabricación

Para el desarrollo del presente proyecto resulta fundamental comprender en detalle el proceso de producción de las carcasas. Estas piezas representan un componente crítico dentro de la transmisión, y su fabricación demanda altos niveles de precisión y control en cada etapa. En la Figura 4 se presenta el flujo de producción de la línea de carcasas, donde se observan todas las etapas del proceso, las cuales serán detalladas a continuación.

FLUJO LINEA CARCASAS

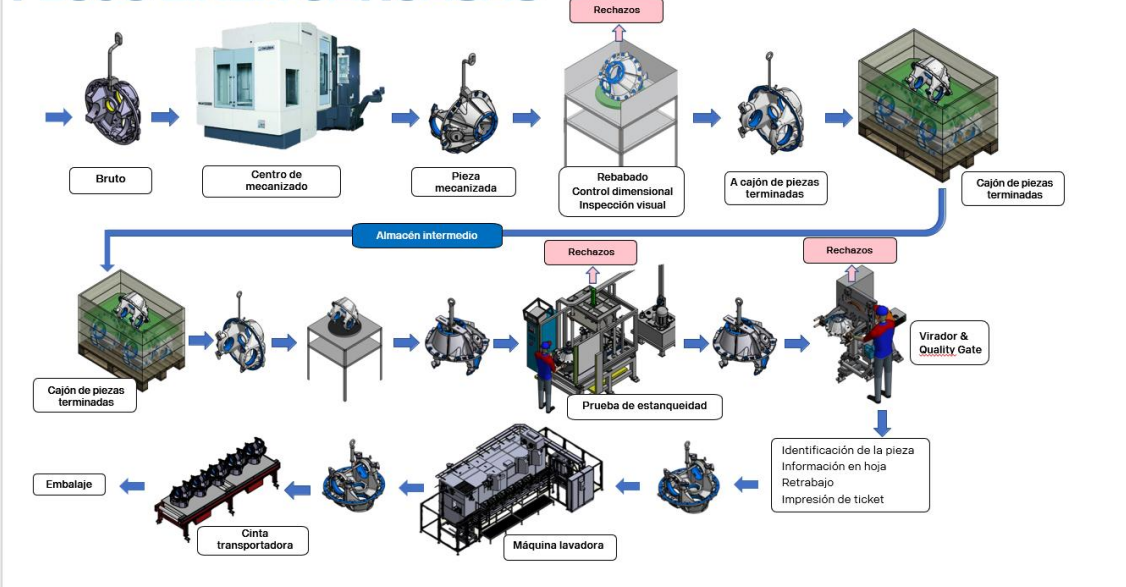


Figura 4: Flujo actual de la línea de carcasas

La producción de las piezas de carcasas comienza con la obtención del **bruto** de distintos proveedores tanto nacionales como importados, el material de estas piezas es hierro fundido.

La línea de producción está conformada por **nueve centros de mecanizado CNC** dispuestos en serie, cada uno operado por una persona. En estos equipos se ejecutan operaciones de fresado, perforado, roscado y alesado, adaptadas a las especificaciones dimensionales de cada artículo. Cada centro está equipado con **dos pallets¹ de trabajo**, lo que permite la mecanización alternada de piezas y asegura la continuidad del ciclo productivo.

Para efectos del presente análisis, se tomará como referencia el **centro de mecanizado SSA1813**, en el cual se produce la pieza **PN866**, dado que su descripción resulta representativa del proceso y permite un enfoque más detallado sin necesidad de abordar los nueve centros en simultáneo.

¹ Un pallet es un dispositivo de sujeción de piezas

Flujo de mecanizado en SSA1813

En la Figura 5 se observa el flujo de mecanizado llevado a cabo en el centro SSA1813.



Figura 5: Flujo de mecanizado en centro SSA1813

En este, como en todos los centros, se realizan dos operaciones principales sobre cada pieza: Operación 1 y Operación 2. El proceso se desarrolla de la siguiente manera:

1. Recepción y preparación del bruto:

El operario recibe el cajón con 4 brutos y realiza un control visual para verificar la ausencia de defectos superficiales. Luego, mediante un gancho, levanta las piezas, carga el pallet 1 y el pallet 2 del centro de mecanizado con los brutos, y el ciclo inicia con la entrada del pallet 1 a Operación 1, mientras el pallet 2 queda en espera.



Figura 6: Cajón con brutos



Figura 7: Pieza colgada mediante gancho

2. Operación 1 – Mecanizado inicial

Durante esta etapa se llevan a cabo principalmente operaciones de fresados, perforaciones y roscados iniciales que configuran la geometría base de la carcasa.

Entre las tareas realizadas se incluyen:

- Fresado con herramientas de desbaste y terminación en diámetros críticos (125 mm, cota 298 mm y 87,1 mm).
- Fresado de cavidades especiales.
- Perforaciones múltiples en diámetros pequeños y medianos (8,8 mm, 17,5 mm, 26,5 mm, 6,8 mm, entre otros).
- Ejecución de roscados técnicos (M10 x 1,5 Spiralock y M20 x 2,5).
- Alesado de diámetro 27 mm.
- Perforación de múltiples orificios pequeños (17 agujeros de Ø17 mm) para fijación y placa identificatoria.

Finalizada la operación 1, el operario realiza distintas actividades manuales sobre la pieza:

- Soplado con pistola neumática de todos los restos de viruta en las roscas.
- Rebabado de contorno de tapas de bancada.
- Control dimensional del diámetro Ø27 mm mediante el uso de un súbito.

- Verificación de perforados destinados a los tapones de la tapa de bancada mediante un calibre de tapón pasa/no pasa, que permite verificar rápidamente si el orificio cumple con la tolerancia establecida.
- Montaje de las tapas de bancada, lo que implica la limpieza de estas y el ajuste de los tornillos mediante el uso máquina torquadora neumática.

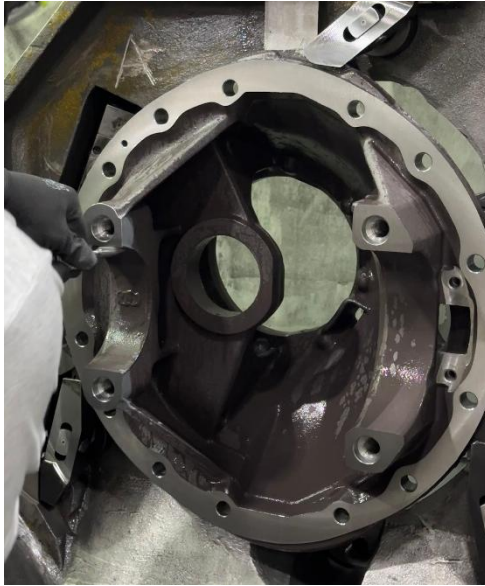


Figura 8: Rebabado de contorno de tapas



Figura 9: Montaje de tapas de bancada

3. Operación 2 – Mecanizado final y terminaciones

En esta etapa se realizan operaciones de mayor precisión y terminación en superficies críticas, incluyendo:

- Fresado de desbaste en diámetros de gran tamaño ($\varnothing 430$, $\varnothing 139$ y $\varnothing 179$ mm).
- Eliminación de escalones en $\varnothing 204$ mm.
- Perforaciones múltiples en $\varnothing 14$ mm (nueve orificios + un orificio adicional).
- Roscados técnicos (M16 x 2).
- Aplanado de superficies ($\varnothing 38$ mm).
- Fresados y terminaciones en diferentes diámetros ($\varnothing 79$, $\varnothing 80$, $\varnothing 430$, $\varnothing 204$, $\varnothing 108$, $\varnothing 100$, $\varnothing 140$, $\varnothing 180$ y $\varnothing 180,8$ mm).
- Ejecución de perforaciones y roscados de precisión para fijación de bomba (3 perforaciones $\varnothing 6,8$ mm y 3 roscados M8 x 1,25).
- Roscado final de gran diámetro (M182,8).

Una vez completada la operación 2, el operario sopla nuevamente la pieza para eliminar los restos de viruta que pudieran haber quedado en los distintos alojamientos y perforaciones. Luego, efectúa un control dimensional de todos los diámetros utilizando para ello diferentes súbitos, lo que permite comprobar que los diámetros internos del mecanizado de los agujeros se encuentren dentro del rango de tolerancia definido, garantizando el correcto ajuste posterior con su componente asociado.

Al finalizar esta verificación descarga la pieza mecanizada en la mesa de rebabado y coloca un nuevo bruto en el centro de mecanizado, reiniciando así el ciclo productivo.



Figura 11: Soplado de restos de viruta en pieza mecanizada



Figura 10: Control dimensional de diámetros



Figura 12: Pieza descargada en mesa de rebabado

Sobre la pieza descargada en la mesa, el operario lleva a cabo un **rebabado manual**, con el objetivo de eliminar los bordes filosos generados durante el mecanizado. Para esta tarea utiliza distintos tipos de fresas rotativas, junto con elementos de protección personal correspondientes (guantes, máscara y protección auditiva). Posteriormente, realiza un lijado de la pieza y un último soplado para retirar el material remanente.



Figura 13: Rebabado manual

Finalmente, el operario realiza una inspección visual para verificar la ausencia de poros, efectúa controles dimensionales de roscas en piezas seleccionadas y coloca el código de trazabilidad. El registro de la producción se completa mediante la carga de la pieza en el sistema *Chronos*, utilizado en planta para la trazabilidad. A continuación, la pieza se descarga en el cajón de piezas terminadas y es trasladado a un **almacén intermedio**, donde espera ser enviado a las etapas finales del ciclo de producción.



Figura 14: Cajón de piezas terminadas

Estas etapas incluyen, en primer lugar, una **prueba de estanqueidad**, cuyo objetivo es verificar que la pieza no presente fugas de fluidos a través de sus cavidades y conductos internos. Posteriormente, las piezas son sometidas a un control de calidad en los denominados **Quality Gate**, y por último son **lavadas y embaladas** bajo condiciones controladas de humedad, de manera que los cajones puedan ser depositados en las plataformas de Ready to Ship para su envío al cliente.

Lógica de alternancia de pallets en los centros de mecanizado:

Durante el proceso de mecanizado, los pallets dentro de los centros operan de manera alternada: mientras el pallet 1 se encuentra en Operación 1, el pallet 2 espera en cola. Al finalizar la Operación 1 del pallet 1, el operario realiza las operaciones manuales intermedias en el mismo, mientras que el pallet 2 inicia su Operación 1. Una vez que pallet 2 concluye Operación 1, pallet 1 entra a Operación 2, y el operario realiza las tareas intermedias sobre pallet 2. Cuando pallet 1 finaliza Operación 2, pallet 2 ingresa a Operación 2 mientras el operario carga el nuevo bruto y realiza el rebabado y lijado del pallet 1.

Este ciclo se repite de forma alternada, y dado que los **tiempos de mecanizado en Operación 1 y Operación 2 son extensos** debido a la cantidad de actividades y herramientas utilizadas, el operario puede realizar las tareas intermedias mientras un pallet se mecaniza. Esto optimiza los tiempos de producción, minimiza los períodos de espera del centro y asegura un flujo continuo y eficiente.

1.3.3 Layout actual de la línea

Existen distintos de distribuciones en la producción: por proceso (funcional), por producto (en línea), por posición fija y celular.

A continuación, se puede observar en la Figura 15, el layout correspondiente a la línea de producción de carcasas, el cual corresponde a una **distribución por producto**, dado que todas las piezas siguen una misma secuencia lineal de operaciones. Se observa que los centros de mecanizado se encuentran dispuestos en serie, a excepción del noveno que se ubica enfrentado al resto. Posteriormente, todas las piezas que salen de los mismos son trasladadas a un almacén intermedio, desde donde continúan hacia las etapas de prueba de estanqueidad, control de calidad, lavado y embalaje, completando así un recorrido estandarizado y repetitivo que caracteriza este tipo de configuración.

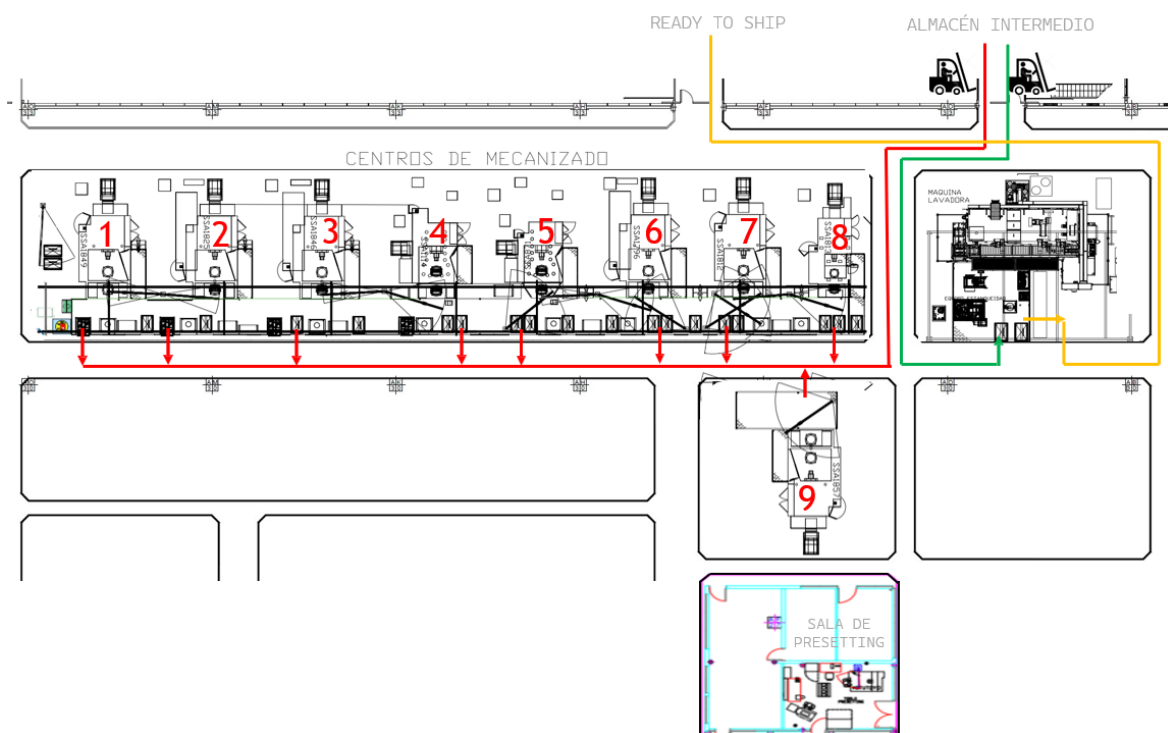


Figura 15: Layout actual de la línea de carcasas

1.3.4 Problemática por resolver

Actualmente, el **rebabado manual** llevado a cabo por cada uno de los operarios de los centros de mecanizado representa una actividad de alta carga física para ellos, ocupando casi un 30% de su jornada laboral, sumado al riesgo que implica la misma, debido a la manipulación de bordes filosos, el contacto con herramientas de corte y la exposición a virutas, lo que genera preocupaciones en términos de **seguridad y ergonomía**.

Esta situación se ve reflejada también en la calidad del producto: en los últimos 3 años se registraron 15 reclamos de clientes, que involucraron 30 piezas afectadas, relacionados con

la presencia de rebabas y bordes filosos en las piezas. A su vez, el rebabado manual genera rechazos internos durante los controles de calidad, incrementando retrabajos. Estos reclamos evidencian que el rebabado manual no siempre garantiza la correcta eliminación de rebabas, afectando directamente la satisfacción del cliente y la calidad del producto.

Para mitigar estos riesgos y mejorar la eficiencia y calidad del proceso, se decidió **incorporar una celda con un robot de rebabado automático**, eliminando esta operación del alcance de los operarios de los centros de mecanizado. Esta celda estará ubicada al final del proceso (en la zona de la lavadora), concentrando el rebabado en un único sector de la línea. Además, el robot se encargará de:

- Cargar y descargar la pieza en la máquina de **prueba de estanqueidad**.
- Transportarla hacia la **lavadora**.
- Integrarla a la **cinta transportadora para el embalaje**.

A continuación, en las Figuras 16 y 17, se podrá observar el layout futuro de la línea, junto con la vista detallada del nuevo sector automatizado:

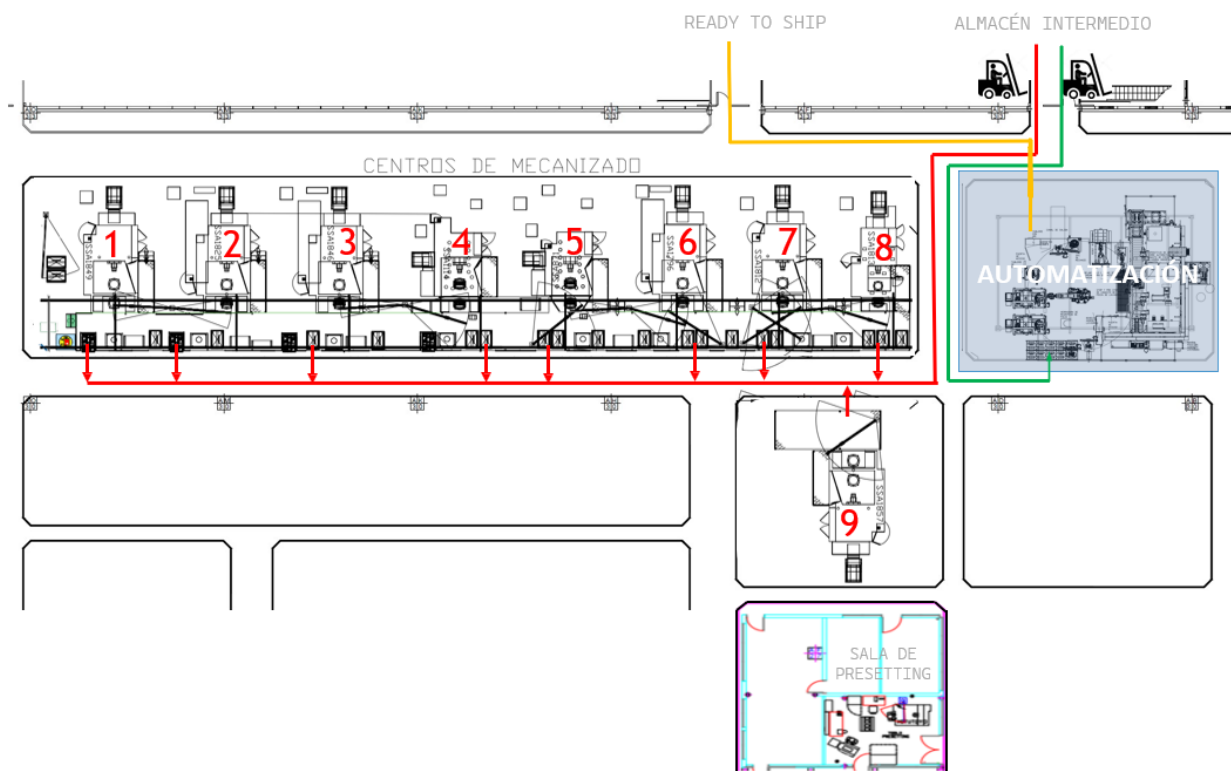


Figura 16: Vista general del layout futuro de la línea de carcasas

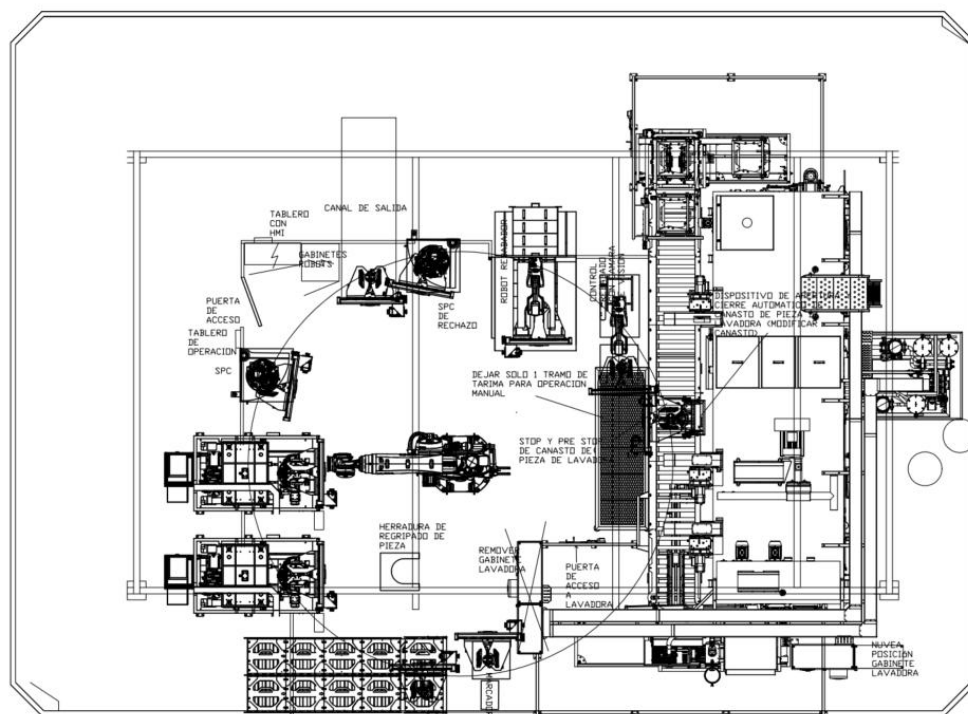


Figura 17: Vista detallada de la zona automatizada en el layout futuro

No obstante, la **automatización del rebabado**, sumada a los **extensos tiempos de ciclo en los centros de mecanizado**, generan períodos de inactividad para los operarios de los centros, quienes deberán esperar a que las piezas finalicen su mecanizado antes de poder intervenir. Esta situación pone de manifiesto el gran impacto que la incorporación del automatismo tendrá sobre la organización de la línea, haciendo necesario analizar y proponer mejoras en la secuencia de operaciones y en la sincronización del flujo productivo, mediante una reestructuración y optimización de recursos orientada a mejorar la eficiencia global del proceso sin comprometer la seguridad ni la calidad de las piezas.

En función de ello, el presente proyecto tiene por objetivo analizar el impacto organizacional, operativo y económico derivado de la automatización del proceso de rebabado de la línea de producción de carcasas, identificando oportunidades de optimización de la utilización de los recursos humanos y técnicos, y proponiendo una reestructuración operativa que se adapte a las nuevas condiciones productivas.

MARCO TEÓRICO

A fines de comprender mejor lo expuesto hasta ahora, y de poder continuar con el desarrollo del proyecto, en este capítulo se procederá a definir determinados conceptos y metodologías a utilizar posteriormente para poder analizar la línea de producción de carcasas y respaldar las propuestas de mejora.

2.1 Centro de mecanizado CNC

Un centro de mecanizado CNC (Figura 18) es una máquina automatizada que utiliza un sistema de Control Numérico por Computadora (CNC) para fabricar piezas con alta precisión y eficiencia.

Utiliza comandos programados para controlar y operar herramientas que realizan diversas operaciones como fresar, perforar, roscar y taladrar en diferentes materiales, con una intervención humana mínima.

Los centros de mecanizado cuentan con un cambiador automático de herramientas, que les permite almacenar y seleccionar las diferentes herramientas de corte. Las herramientas se almacenan en un magazine, y el husillo principal toma la herramienta indicada en el programa CNC y la intercambia cuando es necesario.

Dentro del proceso, los centros de mecanizado CNC trabajan con **pallets de mecanizado**, que consisten en dispositivos de sujeción de piezas, los cuales son intercambiables. Esta configuración intercambiable permite que, mientras un pallet se encuentra dentro de la máquina siendo mecanizado, otro pueda prepararse en el exterior, asegurando así la continuidad del proceso y reduciendo los tiempos improductivos. Esto se observa en la Figura 19.



Figura 18: Imagen de un centro de mecanizado

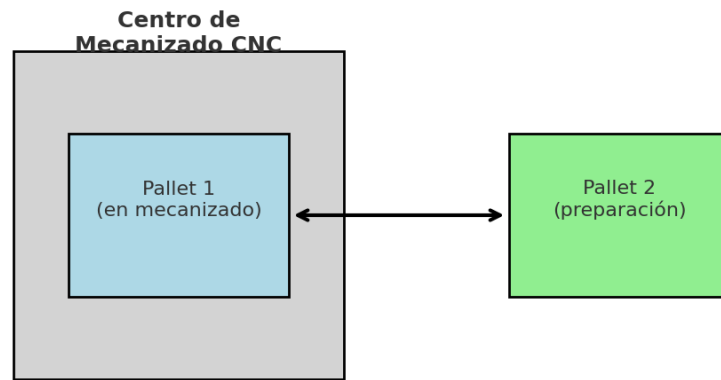


Figura 19: Funcionamiento de pallets dentro de un Centro de Mecanizado CNC

2.2 Estudio del trabajo

El estudio del trabajo es un medio de aumentar la productividad de una fábrica o instalación mediante la reorganización del trabajo.

La expresión estudio del trabajo comprende varias técnicas, y en especial el estudio de métodos y la medición del trabajo, mediante las cuales se asegura el mejor aprovechamiento posible de los recursos humanos y materiales para llevar a cabo una tarea determinada.

2.2.1 Estudio de métodos

El estudio de métodos es el registro y examen critico sistemático de la forma de en la que se lleva a cabo un trabajo determinado, con el fin de efectuar mejoras.

Lo que se persigue, en un estudio de métodos, es:

- Hacer más fácil, rápido, sencillo y seguro el trabajo.
- Economizar el esfuerzo humano y reducir la fatiga innecesaria.
- Mejorar: los procesos y procedimientos, la disposición del lugar de trabajo, la utilización de materiales, máquinas, etc y las condiciones de trabajo.

El procedimiento básico para el estudio de métodos consiste en las siguientes etapas:

1. SELECCIONAR el trabajo o proceso que va a ser objeto de estudio.
2. REGISTRAR todos los hechos pertinentes acerca del método actual mediante la observación directa y recolectar de fuentes apropiadas todos los datos adicionales que sean necesarios.
3. EXAMINAR de forma crítica, el modo en que se realiza el trabajo, su propósito, el lugar en que se realiza, la secuencia en que se lleva a cabo y los métodos utilizados.
4. ESTABLECER el método más práctico, económico y eficaz, mediante el aporte de las personas concernidas.
5. EVALUAR las diferentes opciones para establecer un nuevo método comparando la relación costo-eficacia entre el nuevo método y el actual.

6. DEFINIR el nuevo método de forma clara y presentarlo a todas las personas a quienes pueda concernir (dirección, capataces y trabajadores).
7. IMPLANTAR el nuevo método como práctica normal y formar a todas las personas que han de utilizarlo.
8. CONTROLAR la aplicación del nuevo método e implantar procedimientos adecuados para evitar una vuelta al uso del método anterior.

2.2.2 Medición del trabajo

La OIT (Organización Internacional del Trabajo) dice que la medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el contenido de trabajo de una tarea definida, fijando el tiempo que un trabajador calificado invierte en llevarla a cabo según una norma de rendimiento preestablecida.

Las principales técnicas que se emplean en la medición del trabajo son las siguientes:

- muestreo del trabajo;
- estimación estructurada;
- estudio de tiempos;
- normas de tiempo predeterminadas (NTPD);
- datos tipo.

Definiremos el estudio de tiempos, la cual es una técnica que se utilizará en el desarrollo de este proyecto.

Estudio de tiempos

El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a las actividades de una tarea definida efectuada en condiciones determinadas, y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida.

Se realiza mediante el uso de cronómetro.

De esta definición, se desprende que hay que determinar el tiempo de ejecución para conocer el contenido de trabajo de una cierta tarea.

Entre las razones para efectuar un estudio de tiempos, tenemos:

- Eliminar tiempos improductivos;
- Comparar la eficacia de dos métodos;
- Determinar tiempo estándar para realizar una tarea;
- Establecer indicadores de carga de trabajo de los operarios;
- Identificar diferencias entre trabajadores experimentados y promedio.

Cuando se ha decidido efectuar el estudio de tiempos, es importante que los capataces y operarios se enteren de inmediato sobre esta decisión. De ningún modo se intentará cronometrar al operario desde una posición oculta, sin su conocimiento o llevando el cronometro en el bolsillo.

En la práctica del estudio de tiempos se hace la distinción entre los trabajadores llamados <<representativos >> y los <<calificados>>. Es **representativo** aquel cuya competencia y desempeño corresponden al promedio del grupo estudiado, lo que no coincide necesariamente con el concepto de trabajador **calificado**. Este último concepto tiene su importancia en el estudio de tiempos, y es oportuno definirlo expresamente:

Trabajador calificado es aquel que tiene la experiencia, los conocimientos y otras cualidades necesarias para efectuar el trabajo en curso según normas satisfactorias de seguridad, cantidad y calidad.

2.3 Herramientas para el estudio del proceso

2.3.1 Tiempo de ciclo (TC) vs Tiempo TAKT (TT)

En el ámbito automotriz, el **Tiempo de Ciclo (TC)** se entiende como el tiempo piso a piso (floor-to-floor time). Este concepto se refiere al intervalo total de tiempo que transcurre desde que una pieza ingresa a una estación de trabajo hasta que la misma pieza la abandona, una vez completada la operación. Incluye tanto el tiempo de trabajo manual del operario como el tiempo automático de la máquina, así como eventuales tiempos de espera inherentes al proceso.

Por otro lado, tenemos el **Tiempo TAKT (TT)**. Este se refiere al ritmo de producción que debe cumplir la línea para satisfacer la demanda del cliente en el tiempo de producción disponible. Se calcula como:

$$TT = \frac{\text{Tiempo de producción disponible}}{\text{Demanda del cliente}}$$

En el entorno automotriz, el tiempo TAKT se interpreta como la frecuencia con la que una pieza debe salir de cada estación de trabajo para que la producción total se mantenga sincronizada con la demanda del cliente. Sirve como punto de referencia que permite equilibrar la carga de trabajo entre estaciones, detectar cuellos de botella, evitar sobreproducción y mantener un ritmo de trabajo que no genere estrés ni desbalance en la línea.

Asimismo, en el marco de los Diagramas Hombre-Máquina, el tiempo TAKT no se limita al valor teórico derivado de la fórmula anterior, sino que se ajusta considerando las desviaciones reales registradas en la operación. Para ello, se define como:

$$TT = TC + \Delta \bar{t}$$

donde $\Delta \bar{t}$ representa el promedio de los excesos de tiempo observados respecto al TC en cada loop².

En la Figura 20 se presenta un ejemplo de diagrama Hombre – Máquina construido a partir de datos simulados para un proceso con fines ilustrativos. Su objetivo es mostrar visualmente la relación entre el Tiempo de Ciclo (TC) y el Tiempo TAKT (TT) en una secuencia de 10 loops, permitiendo identificar de manera gráfica cuándo la estación opera por encima o por debajo del ritmo requerido. Este ejemplo se utiliza únicamente para ilustrar la metodología de análisis y facilitar la comprensión del comportamiento comparado entre TC y TT.

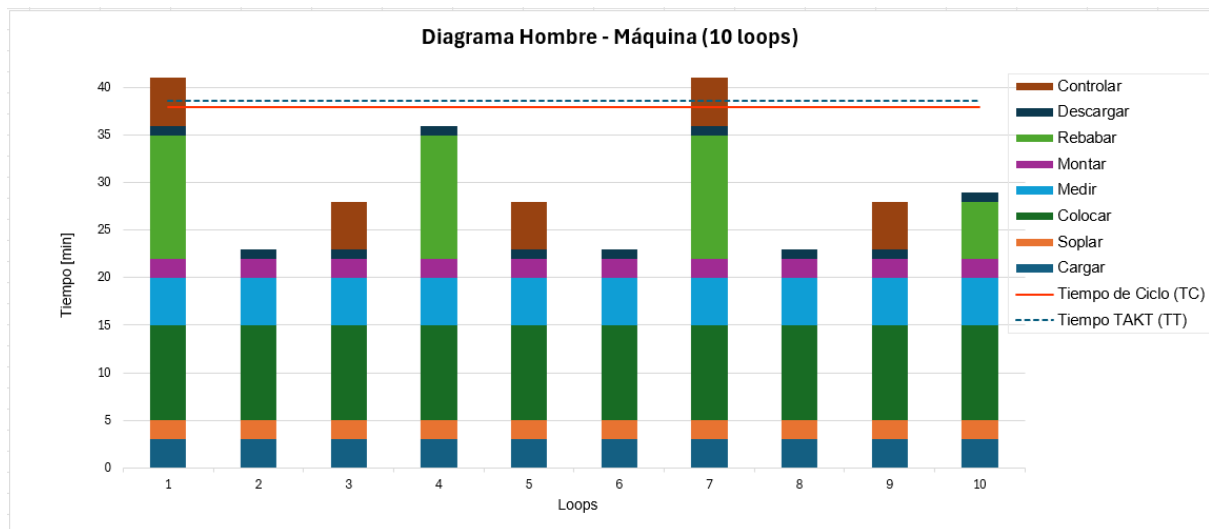


Figura 20: Ejemplo de un diagrama Hombre - Máquina donde $TT > TC$

El gráfico de la figura está compuesto por 10 loops consecutivos representados en el eje horizontal, mientras que el eje vertical representa el tiempo en minutos.

Cada barra apilada representa las actividades manuales llevadas a cabo en cada loop, y se encuentran segmentadas por cada una de estas mediante un color diferente, permitiendo identificar visualmente su contribución al tiempo total de cada loop, representado por la altura total de cada barra. Las actividades se encuentran detalladas en la leyenda del gráfico, y se evidencia que no todas se llevan a cabo en todos los loops.

Además, el gráfico contiene dos líneas que se mantienen constantes a lo largo de los loops, la línea roja correspondiente al Tiempo de Ciclo del proceso, observado en 38 minutos, y el tiempo TAKT, representado por la línea de trazos azul.

Se observa que en los loops 1 y 7, el tiempo total de las actividades manuales exceden el TC, produciendo demoras y generando un $\Delta \bar{t}$, dando lugar a un TT ajustado cuyo valor se

² un **loop** se refiere a un **ciclo repetitivo de trabajo** que realiza un operario o una máquina.

encuentra por encima del TC. De esta forma, el gráfico ilustra la relación directa entre las desviaciones operativas y el valor final del TT: cuando algunos loops exceden el tiempo de ciclo, el ritmo requerido para cumplir la demanda debe ajustarse en consecuencia.

En síntesis,

- **Tiempo de ciclo (TC):** representa lo que realmente tarda la estación en procesar una pieza, incluyendo trabajo manual y automático.
- **Tiempo TAKT (TT):** funciona como un “metrónomo” que marca cuán seguido debería salir una pieza para cumplir con la demanda.

2.3.2 Diagrama Hombre – Máquina

En la industria automotriz, el diagrama Hombre–Máquina es una herramienta de análisis de trabajo cuyo propósito es representar de manera estructurada las actividades manuales que realiza un operario en un proceso productivo. Se utiliza principalmente para estandarizar y cuantificar la carga de tareas manuales que corresponden al operario en cada ciclo de producción.

El diagrama se organiza sobre la base del tiempo de ciclo (TC) del proceso y se estructura considerando la repetición de ciclos o loops durante un horizonte de análisis —habitualmente 60 loops—. En cada loop se registran todas las actividades manuales, la frecuencia y la duración de cada una de ellas, construyendo así un panorama detallado de cómo se distribuye su tiempo operativo.

En el siguiente capítulo se mostrará cómo se aplica el diagrama al proceso productivo analizado en este proyecto.

2.3.3 Índice de ocupación del operador

El índice K de ocupación del operador es un indicador que mide la carga de trabajo del operario, es decir, la proporción del tiempo total del ciclo que el operario se dedica efectivamente a realizar actividades manuales durante un ciclo condicionado por una máquina o proceso.

Su valor permite identificar que tan “ocupado” está el operario durante el ciclo de producción en relación con el tiempo total del ciclo o el tiempo disponible y así detectar posibles tiempos ociosos.

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$K (\%) = \frac{\text{Tiempo total usado por el operario para actividades manuales}}{\text{Tiempo total disponible}} \times 100$$

donde el tiempo total usado por el operario para actividades manuales es la suma de tiempos de todas las tareas manuales registradas en el diagrama Hombre-Máquina, generalmente en minutos, y el tiempo total disponible normalmente se toma como el tiempo de ciclo multiplicado por el número de loops analizados (generalmente 60 loops).

El resultado de este índice se expresa en porcentaje, donde si el valor se encuentra cerca o por debajo del 85%, en la industria se considera adecuado, mientras que valores superiores a este indican que el operario está sobrecargado, lo que puede generar fatiga y aumentar el riesgo de errores en el proceso. Si el valor es del 100% o mayor, indica una sobrecarga excesiva que genera retrasos.

2.3.4 Ciclo del operador

El ciclo del operador, muchas veces representado como un Diagrama de Hilos, consiste en la representación visual detallada de los movimientos y desplazamientos que realiza el trabajador dentro de su área de trabajo durante la ejecución de un ciclo de producción, trazando líneas o “hilos” sobre un plano a escala del área. Su elaboración permite visualizar gráficamente la secuencia de recorridos que el operario efectúa para completar sus tareas, medir las distancias recorridas, identificando tanto las acciones necesarias como los desplazamientos repetitivos o innecesarios. Esta herramienta facilita el análisis del flujo de trabajo y la evaluación de mejoras en la distribución de los puestos, la disposición de herramientas y materiales y la organización de las tareas, con el objetivo de aumentar la eficiencia del proceso productivo. En la figura 21 se presenta un ejemplo de Diagrama de Hilos.

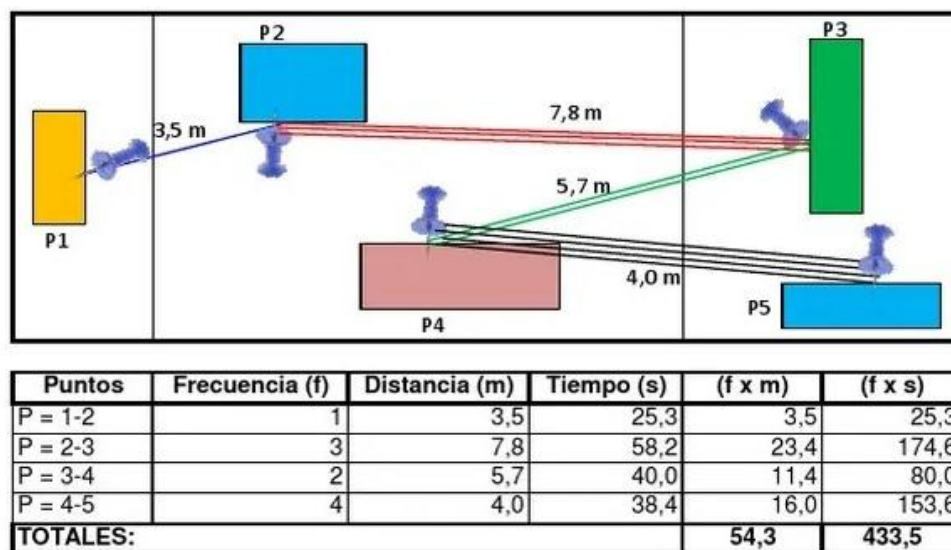


Figura 21: Ejemplo de un diagrama de hilos

Si bien el ciclo del operador suele representarse como un diagrama de hilos, en la industria esta herramienta resulta difícil de interpretar ya que al trazar todos los “hilos” de los recorridos,

el diagrama resulta cargado de líneas y se vuelve poco claro. En su lugar, se emplea una representación simplificada en la que se definen puntos o puestos de trabajo dentro del área del operario mediante letras y se especifica la secuencia de desplazamientos, a través de trayectorias entre los puntos de referencia. Por ejemplo, para la colocación de una tapa, el diagrama describe el desplazamiento como A-B-A-C, donde cada letra corresponde a un puesto. Esta representación permite identificar la lógica de los movimientos del operario y sirve como base para proponer mejoras en la organización del puesto de trabajo.

En el próximo capítulo se presentará un Ciclo del operador aplicado al centro de mecanizado SSA1813.

RELEVAMIENTO SITUACIÓN ACTUAL

Como se mencionó anteriormente, en la línea de carcasas se implementará una celda de rebabado automático, cuyo impacto se reflejará principalmente en la reducción de actividades que actualmente realizan los operarios al eliminarles el rebabado de su alcance. Por esta razón, el presente proyecto se centra en proponer mejoras que permitan aprovechar de manera óptima la automatización en toda la línea.

Para poder fundamentar dichas mejoras, resulta necesario realizar previamente un análisis detallado de la situación actual de la línea. Este relevamiento permitirá identificar las actividades realizadas por los operarios, sus tiempos de ejecución, los puntos críticos y los posibles cuellos de botella, sirviendo como base para el diseño de propuestas que optimicen la dotación y la eficiencia operativa.

La línea de carcasas cuenta con nueve centros de mecanizado, en los cuales se producen catorce artículos, que se diferencian principalmente por sus especificaciones técnicas, tales como dimensiones, geometría y tolerancias de calidad asociadas. Todos los artículos siguen la misma secuencia o flujo visto anteriormente en el Capítulo 1.3, aunque lo que varía entre ellos son los tiempos de cada operación de mecanizado, generando variaciones en los tiempos de ciclo, que van desde los 37 hasta los 77 minutos.

En la Tabla 1 se observan los tiempos de ciclo correspondientes a cada artículo PN, junto con el número de centro de mecanizado SSA donde se produce cada uno.

PN	1322056	1540473	1442866	1519122	2499004	3020735	2916745	2825276	2870923	3025896	2863353	2958917	2874089	3087833
Máquina														
SSA1849					X									
SSA1825		X				X	X	X	X	X	X	X	X	X
SSA1846		X				X	X	X	X	X	X	X	X	X
SSA1114					X									
SSA871					X									
SSA1796		X				X	X	X	X	X	X	X	X	X
SSA1812	X		X	X	X									
SSA1813	X		X	X										
SSA1857	X	X	X	X										
Tiempo de ciclo (min)	39	70	37	40,35	56,26	77,33	42	50	48	46	46	46	48	48

Tabla 1: Matriz cruzada de los artículos PN que se producen en cada CM, con sus respectivos TC

A fin de analizar la situación actual de la línea de manera sistemática, se llevará a cabo la **aplicación práctica del estudio de métodos**, en conjunto con la **medición del trabajo** descrita en el Capítulo 2.

3.1 Estudio de métodos y medición del trabajo llevados a la práctica

3.1.1 Selección del proceso a analizar

Para el presente estudio, se tomó como referencia el artículo con **menor tiempo de ciclo**, correspondiente al **PN866**, fabricado en el centro de mecanizado **SSA1813**. La elección de esta pieza no es casual ya que, al tratarse del escenario con el tiempo de ciclo más corto, representa la situación más desfavorable: el operario dispone de un margen menor para ejecutar sus actividades manuales entre operaciones. Analizar este caso permite obtener una visión más exigente y representativa de las condiciones actuales de trabajo, sobre la cual se basarán las propuestas de mejora.

3.1.2 Registro y examen de actividades

Se realizaron **observaciones directas** en planta para relevar las actividades manuales llevadas a cabo por los operarios.

En una primera instancia, se observó a un trabajador representativo de la línea, identificando todas las tareas que ejecutaba a modo de poder comprender e interpretar de forma clara todo el proceso. En una segunda oportunidad, se realizaron observaciones al operario calificado, con el objetivo de comparar las formas de ejecutar las actividades de ambos y evaluar posibles diferencias, permitiendo verificar si las actividades se realizaban de manera estandarizada. A ambos operarios se los siguió durante un turno completo de trabajo, de 8 horas.

Al comparar las actividades de ambos operarios, no se detectaron diferencias significativas en la secuencia ni en el contenido de las tareas. Las variaciones observadas estuvieron más relacionadas con la comodidad o estilo personal de trabajo de cada uno, sin que estas afectaran de manera relevante al proceso. Esto confirma que, pese a las pequeñas diferencias individuales, las actividades realizadas están estandarizadas, asegurando que el flujo de trabajo se mantiene consistente entre distintos operarios.

Adicionalmente, se contrastó el relevamiento realizado con un estudio previo llevado a cabo en 2023, y se observó que en aquel estudio faltaban algunas actividades que el operario ejecuta actualmente en la práctica. Esta comparación permitió identificar y documentar de manera más completa todas las tareas reales, garantizando que el análisis actual refleje con precisión la situación vigente y sirva como base confiable para la propuesta de mejoras.

Se incluye la tabla donde se registraron todas las actividades observadas (Tabla 2). En la misma, las tareas que coinciden con las identificadas en el estudio de 2023 se resaltaron en amarillo, permitiendo visualizar de manera clara las coincidencias y diferencias entre ambos relevamientos. Las operaciones 1 y 2 de mecanizado, que corresponden a actividades de máquina y no manuales, se resaltaron en celeste.

Actividades manuales en SSA1813
Control visual bruto (Pallet 1)
Soplado de dispositivo
Carga de bruto (Pallet 1)
operacion 1 (Pallet 1)
Control visual bruto (Pallet 2)
Soplado de dispositivo
Carga de bruto (Pallet 2)
operacion 1 (Pallet 2)
Rebabado tapa de bancada (Pallet 1)
Control de perforado (Pallet 1)
Soplado de perforado (Pallet 1)
Control de diametro Ø27 (Pallet 1)
Control de tapones de tapa de bancada (Pallet 1)
Colocar tapa de bancada (Pallet 1)
operacion 2 (Pallet 1)
Rebabado tapa de bancada (Pallet 2)
Control de perforado (Pallet 2)
Soplado de perforado (Pallet 2)
Control de diametro Ø27 (Pallet 2)
Control de tapones de tapa de bancada (Pallet 2)
Colocar tapa de bancada (Pallet 2)
operacion 2 (Pallet 2)
Control de diametro Ø100 (Pallet 1)
Control de diametro Ø204 (Pallet 1)
Control de diametro Ø180 (Pallet 1)
Control de diametro Ø140 (Pallet 1)
Control de diametro Ø80 (Pallet 1)
Soplado de viruta (Pallet 1)
Descarga pieza terminada a mesa de rebabado (Pallet 1)
Rebabado + lijado (Pallet 1)
Control de rosca de 2 piezas cada 10 piezas 1 de cada pallet.
Soplado + inspeccion visual de poros (Pallet 1)
Descarga a cajon (Pallet 1)
Colocar codigo de trazabilidad (Pallet 1)
Registración en Chronos (Pallet 1)
Control de diametro Ø140 (Pallet 2)
Control de diametro Ø100 (Pallet 2)
Control de diametro Ø180 (Pallet 2)
Control de diametro Ø80 (Pallet 2)
Control de diametro Ø204 (Pallet 2)
Soplado de viruta (Pallet 2)
Descarga pieza terminada a mesa de rebabado (Pallet 1)
Rebabado + lijado (Pallet 2)
Control de rosca de 2 piezas cada 10 piezas 1 de cada pallet.
Soplado + inspeccion visual de poros (Pallet 2)
Descarga a cajon (Pallet 2)
Colocar codigo de trazabilidad (Pallet 2)
Registración en Chronos (Pallet 2)
Buscar zorra + Llevar cajon a estanterias de piezas terminadas.
Cambio de Herramientas sin Duplo.
Búsqueda de tornillos
Control en Sala de Medición+Impresión de ticket
Cambio de Herramientas con Duplo.
MPO+SS

Tabla 2: Lista de actividades manuales llevadas a cabo por los operarios del centro de mecanizado SSA1813

3.1.3 Toma de tiempos

Luego del relevamiento de actividades, y una vez adquirida la comprensión clara y detallada del proceso llevado a cabo en la máquina SSA1813, se procedió a la toma de tiempos de cada tarea. Para ello se utilizó un cronómetro, registrando la duración y frecuencia de cada una de las actividades manuales observadas durante un turno normal de trabajo del operario calificado.

El objetivo de la toma de tiempos fue contar con la información necesaria para la posterior elaboración del diagrama Hombre–Máquina, a partir del cual se definirá la carga actual de trabajo del operario.

Para la realización de esta medición, se tomó como referencia el estudio previo realizado en 2023. Se elaboró una tabla comparativa en la que se muestran todas las actividades registradas, incluyendo los tiempos medidos en el presente estudio y los correspondientes al estudio de 2023 (Tabla 3). Esta tabla permite visualizar de manera directa las diferencias y similitudes entre ambos estudios. Cabe aclarar que los tiempos se expresaron en minutos en formato decimal (por ejemplo, 1,5min equivale a 1min 30s).

Actividades manuales en SSA1813	tiempos actuales	observaciones	tiempos 2023	observaciones
Control visual bruto (Pallet 1)	-			
Soplado de dispositivo	-			
Carga de bruto (Pallet 1)	1,45	tiempo total de las 3 actividades		
operación 1 (Pallet 1)	8,75		8,75	
Control visual bruto (Pallet 2)	-			
Soplado de dispositivo	-			
Carga de bruto (Pallet 2)	1,45	tiempo total de las 3 actividades		
operación 1 (Pallet 2)	8,75		8,75	
Rebabado tapa de bancada (Pallet 1)	-		-	
Control de perforado (Pallet 1)	-			
Soplado de perforado (Pallet 1)	0,6	tiempo total de las 3 actividades		
Control de diametro Ø27 (Pallet 1)	0,33		-	
Control de tapones de tapa de bancada (Pallet 1)	0,25			
Colocar tapa de bancada (Pallet 1)	2,00		2,50	tiempo total de las 3 actividades
operación 2 (Pallet 1)	21,9		21,9	
Rebabado tapa de bancada (Pallet 2)	0		0	
Control de perforado (Pallet 2)	0			
Soplado de perforado (Pallet 2)	0,6	tiempo total de las 3 actividades		
Control de diametro Ø27 (Pallet 2)	0,33		0,00	
Control de tapones de tapa de bancada (Pallet 2)	0,25		-	
Colocar tapa de bancada (Pallet 2)	2,00		2,50	tiempo total de las 3 actividades
operación 2 (Pallet 2)	21,9		21,9	
Control de diametro Ø100 (Pallet 1)	0,17			
Control de diametro Ø204 (Pallet 1)	0,33			
Control de diametro Ø180 (Pallet 1)	0,33			
Control de diametro Ø140 (Pallet 1)	0,33			
Control de diametro Ø80 (Pallet 1)	0,25			
Soplado de viruta (Pallet 1)	0,83			
Descarga pieza terminada a mesa de rebabado (Pallet 1)	0,67		-	
Rebabado + lijado (Pallet 1)	4,75		16,80	
Control de rosca de 2 piezas cada 10 piezas 1 de cada pallet.	3,67		2,50	incluye tiempo de esa actividad + tiempos de control de diam + soplado de viruta + descarga de pieza + carga de bruto
Soplado + inspeccion visual de poros (Pallet 1)	2,33		2,30	solo tiempo de inspeccion
Descarga a cajon (Pallet 1)	0,50		0,50	
Colocar codigo de trazabilidad (Pallet 1)	0,50		0,50	
Registración en Chronos (Pallet 1)	1,00		1,00	
Control de diametro Ø140 (Pallet 2)	0,17			
Control de diametro Ø100 (Pallet 2)	0,33			
Control de diametro Ø180 (Pallet 2)	0,33			
Control de diametro Ø80 (Pallet 2)	0,33			
Control de diametro Ø204 (Pallet 2)	0,25			
Soplado de viruta (Pallet 2)	0,83			
Descarga pieza terminada a mesa de rebabado (Pallet 2)	0,67		-	
Rebabado + lijado (Pallet 2)	4,75		16,80	
Control de rosca de 2 piezas cada 10 piezas 1 de cada pallet.	3,67		2,50	incluye tiempo de esa actividad + tiempos de control de diam + soplado de viruta + descarga de pieza + carga de bruto
Soplado + inspeccion visual de poros (Pallet 2)	2,33		2,30	solo tiempo de inspeccion
Descarga a cajon (Pallet 2)	0,50		0,50	
Colocar codigo de trazabilidad (Pallet 2)	0,50		0,50	
Registración en Chronos (Pallet 2)	1,00		1,00	
Buscar zorra + Llevar cajon a estanterias de piezas terminadas.	5,00		5,00	
Cambio de Herramientas sin Duplo.	13,00		5,00	
Búsqueda de tornillos	2,00		2,00	
Control en Sala de Medición + Impresión de ticket	7,00		3,90	
Cambio de Herramientas con Duplo.	8,00		5,00	
MPO-5S	11		10,00	

Tabla 3: Tabla comparativa de tiempos

A continuación, se presentan las principales incongruencias detectadas entre el relevamiento actual y el estudio de 2023:

- Actividades previas a la Operación 1 de mecanizado: en el estudio anterior no estaban registradas las tareas manuales vinculadas al control y carga de bruto en los pallets.
- Control dimensional de diámetros: actualmente el operario realiza este control en el 100% de las piezas, con una duración de entre 2 y 2,5 minutos por pieza. Anteriormente, esta actividad se encontraba unificada con otras tareas —control de roscas, soplado de viruta, descarga de la pieza en mesa y carga de bruto—, registrando en conjunto un tiempo total de apenas 2,5 minutos. En la situación actual, la ejecución de todas estas actividades demanda aproximadamente 8 minutos.
- Control de roscas: en el relevamiento actual se registró que este control ya no se aplica a la totalidad de las piezas, sino únicamente a 2 de cada 10.

- Tiempo de rebabado: constituye la incongruencia más relevante. En 2023 se había registrado un valor cercano a 17 minutos por pieza, mientras que en la actualidad no supera los 5 minutos. Esta diferencia se debe a que el procedimiento de rebabado fue estandarizado y optimizado, limitándose a sectores críticos, como roscas o alojamientos, donde existe mayor riesgo de bordes filosos y de retención de virutas. Además, la experiencia adquirida por los operarios contribuyó a la reducción de este tiempo.
- Cambios de herramientas con y sin duplo: El cambio de herramientas consiste en reemplazar o ajustar las herramientas de corte utilizadas en la máquina para garantizar que las piezas se produzcan dentro de las tolerancias especificadas. La condición de cambio o reemplazo depende de si la herramienta posee duplo³ o no. Esto se realiza en la denominada sala de pre-setting, donde se calibran las herramientas dependiendo de las especificaciones de las piezas.

En el estudio del 2023 se había registrado una frecuencia fija de reemplazo o ajuste cada 4 piezas mecanizadas. En la actualidad, esta actividad no presenta una frecuencia estandarizada, sino que se lleva a cabo en función de la condición real de la herramienta. Es decir, el operario decide el momento del cambio a partir de los resultados de los controles dimensionales: cuando detecta que una medida se encuentra próxima a los límites de tolerancia, interpreta que la herramienta está llegando al final de su vida útil y procede a llevarla a pre-setting para su cambio o ajuste.

Las diferencias encontradas ponen de manifiesto la importancia de haber realizado un nuevo relevamiento de las actividades en la línea. Contar con información precisa y actualizada resulta fundamental para el correcto establecimiento de métodos y para la construcción del diagrama Hombre-Máquina.

3.1.4 Establecimiento de métodos

Con la información recopilada y los tiempos de cada actividad ya definidos, se elaboró el diagrama Hombre-Máquina, para la posterior definición de la carga actual de trabajo de los operarios de los centros de mecanizado de la línea de carcasas.

3.1.4.1 Verificación del tiempo de ciclo

Para la elaboración de este diagrama, primero fue necesario **verificar el tiempo de ciclo (TC)** del artículo PN866:

³ una herramienta con **duplo** es aquella que tiene un repuesto idéntico disponible, de manera que cuando se desgasta puede reemplazarse directamente. Una herramienta sin duplo no dispone repuesto, por lo que cuando se desgasta, se ajustan sus medidas para continuar utilizándola.

En el estudio realizado en 2023, para la elaboración del diagrama H-M de este artículo en la máquina SSA1813, se utilizó un TC piso a piso de 37 minutos, desglosado de la siguiente manera:

ESTUDIO DE TIEMPOS 2023	
1 Operación	8,75
2 Operación	21,9
3 Operación-tapa	2,5
4 Operación-Carga	1,3
5 Operación-Descarga	2,5
TC TOTAL (min)	37,0

Tabla 4: Desglose del tiempo de ciclo utilizado en el estudio del año 2023

Se puede observar que los tiempos correspondientes a las operaciones de mecanizado 1 y 2, así como los de operación tapa y descarga, coinciden con los registrados en la tabla 3 de desglose de actividades presentada en el apartado 3.1.3.

Actividades en SSA1813 consideradas para TC	tiempos 2023	observaciones	
operacion 1 (Pallet 1)	8,75		
Rebabeado tapa de bancada (Pallet 1)	2,50	tiempo total de las 3 actividades	3 Operación - Tapa
Control de diametro Ø27 (Pallet 1)			
Colocar tapa de bancada (Pallet 1)			
operacion 2 (Pallet 1)	21,9		
Descarga pieza terminada a mesa de rebabeado (Pallet 1)	-		
Control de rosca de 2 piezas cada 10 piezas 1 de cada pallet.	2,50	incluye tiempo de esa actividad + tiempos de control de diam + soplado de viruta + descarga de pieza + carga de bruto	5 Operación - Descarga
TIEMPO DE CICLO (min)	35,65	faltan 1,3 minutos de 4 op - carga	

Tabla 5: Tiempos de las actividades consideradas para el cálculo del tiempo de ciclo utilizado en el estudio del año 2023

Sin embargo, el tiempo asignado a la Operación-Carga de 1,3 minutos queda inconcluso ya que no coincide con ninguna actividad o tiempo observado en la tabla 3 del apartado anterior. A su vez, se observa que para el cálculo del TC se consideró el tiempo destinado al control de roscas, actividad que actualmente no se lleva a cabo en todas las piezas.

Estas incongruencias evidenciaron la necesidad de definir el Tiempo de ciclo actual que refleje con precisión las actividades contempladas para su cálculo y sirva como base confiable para la elaboración del diagrama Hombre-Máquina.

Para el cálculo del **TC piso a piso actual** del artículo PN866, se consideraron exclusivamente aquellas actividades que forman parte de la estación de trabajo, en este caso, del centro de mecanizado, y que se llevan a cabo en todos los loops. Es decir, se incluyeron todas las operaciones desde que el operario toma un bruto para cargar en el centro de mecanizado hasta que vuelve a disponer de otro bruto para iniciar un nuevo ciclo.

Las actividades consideradas fueron las siguientes:

Actividades en SSA1813 consideradas para TC	tiempos actuales	observaciones		
Control visual bruto (Pallet 1)	1,45	tiempo total de las 3 actividades	4 Operación - Carga	1,45 min
Soplado de dispositivo				
Carga de bruto (Pallet 1)				
operacion 1 (Pallet 1)	8,75			
Rebado tapa de bancada (Pallet 1)	0,6	tiempo total de las 3 actividades	3 Operación - Tapa	3,2 min
Control de perforado (Pallet 1)				
Soplado de perforado (Pallet 1)				
Control de diametro Ø27 (Pallet 1)				
Control de tapones de tapa de bancada (Pallet 1)	0,25			
Colocar tapa de bancada (Pallet 1)	2,00			
operacion 2 (Pallet 1)	21,9			
Control de diametro Ø100 (Pallet 1)	0,17		3 Operación - Tapa	2,92 min
Control de diametro Ø204 (Pallet 1)	0,33			
Control de diametro Ø180 (Pallet 1)	0,33			
Control de diametro Ø140 (Pallet 1)	0,33			
Control de diametro Ø80 (Pallet 1)	0,25			
Soplado de viruta (Pallet 1)	0,83			
Descarga pieza terminada a mesa de rebabado (Pallet 1)	0,67			
TIEMPO DE CICLO (min)	38,20			

Tabla 6: Tiempos de las actividades consideradas para el nuevo cálculo del tiempo de ciclo

Se observa que para el cálculo se incluyeron únicamente las actividades que forman parte del ciclo productivo directo en el centro de mecanizado: carga del bruto, operación 1 de mecanizado, montaje de las tapas de bancada, operación 2 de mecanizado y descarga de la pieza terminada en la mesa de rebabado. Por el contrario, se excluyeron actividades “externas” o auxiliares tales como el control de roscas en 2 de cada 10 piezas, el rebabado manual, controles en sala de medición, cambios de herramientas, ya que estas no forman parte del flujo continuo de mecanizado piso a piso en el centro, sino que ocurren de manera intermitente, o en paralelo o fuera de la estación principal.

De este modo, el TC calculado de 38,2 minutos refleja el tiempo mínimo requerido para procesar una pieza en la máquina, y será el tiempo utilizado para elaborar el diagrama Hombre-Máquina y posteriormente analizar la carga de trabajo del operario.

ESTUDIO DE TIEMPOS 2025	
1 Operación	8,75
2 Operación	21,9
3 Operación-tapa	3,2
4 Operación-Carga	1,45
5 Operación-Descarga	2,92
TC TOTAL (min)	38,2

Tabla 7: Desglose del nuevo tiempo de ciclo

3.1.4.2 Elaboración Diagrama Hombre – Máquina PN866 en SSA1813

Con el TC definido, se procedió a la construcción del diagrama H-M correspondiente al artículo PN 866 en el centro de mecanizado SSA1813. Para ello, se partió de una tabla detallada que recoge las actividades del ciclo, sus duraciones, frecuencias y la secuencia en

que ocurren. La elaboración de dicha tabla requirió tener en cuenta una serie de consideraciones para garantizar la correcta representación del proceso:

- Producción en dos pallets: en este flujo se procesan dos piezas por loop, ya que la máquina trabaja con dos pallets en simultáneo. Por esta razón, el Tiempo de Ciclo considerado corresponde al doble del TC de una pieza individual, que resultó en 76,4 minutos.
- Duplicación de actividades: muchas de las operaciones se repiten para cada pallet (Pallet 1 y Pallet 2), por lo que en la tabla aparecen diferenciadas.
- Frecuencia de actividades específicas: aunque la mayoría de las actividades se ejecuta para ambos pallets en cada loop, existen actividades que no se ejecutan en todos los ciclos, sino con una frecuencia menor determinada, las cuales también se registraron en la tabla.
- Condición de flujo normal: se asumió que la máquina se encuentra en pleno proceso productivo, con piezas en flujo, y no desde la situación inicial con la máquina vacía, para reflejar con precisión el desarrollo cíclico de las actividades durante la producción real.
- Producción real por turno: se consideró la producción actual de la línea, donde se trabaja en tres turnos de 8 horas cada uno, con una producción de entre 10 y 11 piezas, equivalente a aproximadamente 5 loops por turno.
- Horizonte de análisis: la tabla se estructuró considerando la repetición de 60 loops, con el fin de representar de manera completa la distribución de las actividades y los tiempos del operario a lo largo de múltiples ciclos de producción.

A continuación, se presenta un recorte de la tabla base utilizada para construir el diagrama Hombre – Máquina (Tabla 8). La tabla completa, con todo el detalle de actividades y tiempos, se encuentra en el **Anexo 3**.

Tc 1 pieza 2 38,2 Piezas por Loop min

DIAGRAMA HOMBRE MAQUINA -

				Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Frec		Duración																																
Cada	inicio	min		Tiempo de Ciclo	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4
				TAKT	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4	76,4
	1	0	0	Apertura de puertas + rebabado de tapa de bancanda (Pallet 1)																														
	1	0	0	Control de perforado (Pallet 1)																														
	1	0	0,6	Soplado de perforado (Pallet 1)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
	1	0	0,3	Control de diametro Ø27 buje de tapa (Pallet 1)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	2	-1	0,25	Control de tapones de tapa de bancada (Pallet 1)	0,25	0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		
	1	0	2	Colocar tapas de bancadas + cierre de puertas (Pallet 1)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	1	0	0	Apertura de puertas + rebabado de tapa de bancanda (Pallet 2)																														
	1	0	0	Control de perforado (Pallet 2)																														
	1	0	0,6	Soplado de perforado (Pallet 2)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
	1	0	0,3	Control de diametro Ø27 buje de tapa (Pallet 2)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	2	0	0,25	Control de tapones de tapa de bancada (Pallet 2)	0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25		0,25	
	1	0	2	Colocar tapas de bancadas + cierre de puertas (Pallet 2)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	1	0	1,4	Apertura de puertas + Control de diametros (Pallet 1)	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	1	0	0,85	Soplado de viruta (Pallet 1)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	1	0	0,7	Descarga pza terminada a mesa de rebabado (Pallet 1)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	1	0	0	Control visual bruto (Pallet 1)																														
	1	0	0	Soplado de dispositivo																														
	1	0	1,45	Carga de bruto + cierre de puertas (Pallet 1)	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45

Tabla 8: Recorte de la tabla base utilizada para la posterior elaboración del Diagrama Hombre - Máquina del centro de mecanizado SSA1813

En la cuarta columna de la tabla se observa el desglose de las actividades manuales llevadas a cabo por el operario, donde cada fila corresponde a una actividad. Las columnas 1, 2 y 3, contienen la frecuencia, inicio y duración de cada actividad, respectivamente.

- Frecuencia: indica cada cuantos loops se repite la actividad dentro del horizonte de análisis; por ejemplo, “cada 1” significa que se ejecuta en todos los loops, mientras que “cada 2” indica que se realiza cada dos loops. Fue necesario definir la frecuencia de ciertas actividades que estaban inconclusas, como el cambio de herramientas, el cual se definió, teniendo en cuenta la vida útil de la mayoría de las herramientas, que se hará cada 15 piezas mecanizadas, es decir aproximadamente cada 7 loops.
- Inicio: indica el número de loop en el cual la actividad se ejecuta por primera vez, y su interpretación está directamente vinculada con la frecuencia.
- Duración: corresponde al tiempo que insume la actividad, expresado en minutos en formato decimal. Sus valores provienen de la toma de tiempos realizada previamente.

Las columnas siguientes (numeradas del 1 al 60) representan los 60 loops del horizonte de análisis: cada número de columna corresponde a un loop completo. La distribución de las actividades y su duración a lo largo de estos loops se determina combinando la frecuencia y el valor de inicio, lo que permite ubicar cada tarea en su posición exacta dentro del ciclo de análisis. Por ejemplo, si una actividad tiene frecuencia 5 e inicio 0, su primera ocurrencia será en el loop 5, y a partir de allí se repetirá cada 5 loops. En cambio, si tuviera inicio igual a -1, la primera ocurrencia se anticipa al loop 4. Esto permite determinar la secuencia exacta de repetición de cada tarea dentro del horizonte de análisis.

La última fila de la tabla del Anexo 3 corresponde al tiempo total de las actividades manuales de cada loop, calculado mediante la suma de los tiempos de las actividades de cada columna. Se puede observar que en todos los loops, **el tiempo total de ejecución de las actividades manuales es menor al Tiempo de Ciclo**, lo que indica:

- El operario completa todas sus tareas manuales dentro del tiempo que tarda la máquina en completar un ciclo.
- No hay retrasos, ni “tiempos extra” que hagan que el operario se quede detrás de la máquina; todo la carga de trabajo manual se realiza dentro del TC establecido.
- Esto valida que la distribución de la carga de trabajo es adecuada y que la máquina no queda inactiva esperando al operario.

A su vez, como se describió en el Capítulo 2, el Tiempo TAKT se calcula como la suma entre el tiempo de ciclo y el promedio de los excesos de tiempo respecto al TC observados en cada loop. En este caso, dado que en ninguno de los loops se supera al TC, el **Tiempo TAKT resulta igual al TC establecido**, lo que indica que la capacidad productiva de la línea se encuentra alineada con la demanda de producción.

En la Figura 22, se observa el diagrama Hombre – Máquina obtenido a partir de la representación gráfica de la tabla anterior:

DIAGRAMA HOMBRE MAQUINA - SSA1813 - PN 866

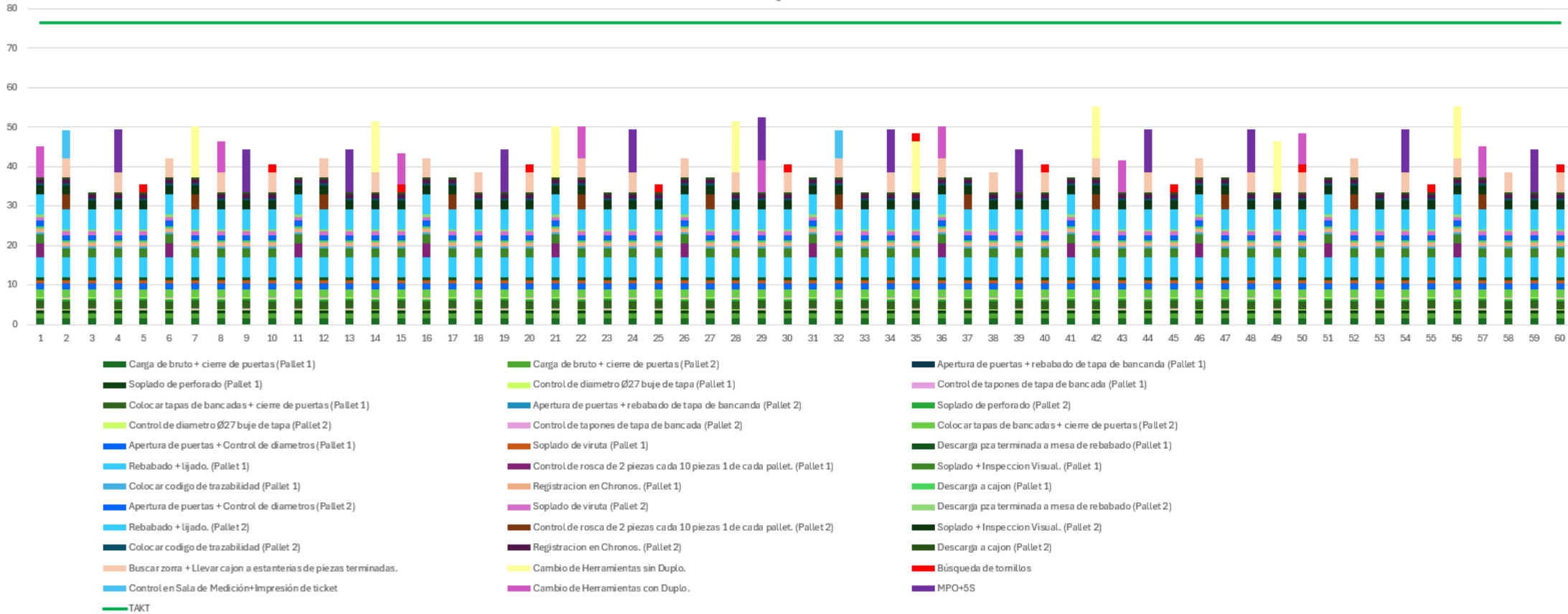


Figura 22: Diagrama Hombre – Máquina del centro de mecanizado SSA1813

3.1.4.3 Cálculo del índice K

A partir de la tabla utilizada para la elaboración de diagrama H-M, se procedió a calcular el índice K de ocupación del trabajador, considerando un horizonte de análisis de 60 loops. Este índice va a determinar cuál va a determinar la carga actual de trabajo de los operarios.

Para el cálculo se aplicó la formula presentada en el Capítulo 2:

$$K (\%) = \frac{\text{Tiempo total usado por el operario para actividades manuales}}{\text{Tiempo total disponible}} \times 100$$

Al sumar el tiempo total de la actividades manuales de cada loop, registrados en la última fila de la tabla, se obtiene que el tiempo total usado por el operario es de 2.591,8 minutos.

El tiempo total disponible se obtiene de multiplicar los 60 loops analizados por el Tiempo de ciclo (76,4 min), ya que cada loop representa un ciclo completo de producción durante el cual el operario puede ejecutar sus tareas.

$$60 \text{ loops} \times 76,4 \text{ min/loop} = 4.584 \text{ minutos.}$$

Esto asegura que se considera la totalidad del tiempo en el que la máquina está operativa y disponible para que el operario realice sus actividades.

Con estos valores, el índice K se obtiene como:

$$K (\%) = \frac{2591,8}{4584} \times 100 = \mathbf{56,5\%}$$

Este resultado indica que, a lo largo de los 60 loops analizados, el operario utiliza solo el 56,5% del tiempo total disponible para realizar sus tareas manuales, es decir, dispone de un margen amplio de capacidad dentro del ciclo de la máquina, lo que evidencia que las tareas manuales se completan con tiempo de sobra y que la línea opera de manera eficiente sin riesgos de retrasos.

Además, con el fin de identificar el peso que tiene la operación de rebabado dentro de la jornada del operario, se realizó una estimación del porcentaje de tiempo que esta actividad representa sobre el total del tiempo efectivamente utilizado.

Para ello, se sumaron los tiempos de la actividad de rebabado (5 minutos) y la de descarga de la pieza en la mesa de rebabado (0,7 minutos) de ambos pallets a lo largo de los 60 loops analizados, obteniendo un total de 684 minutos. Este valor se dividió en el tiempo total utilizado por el operario ((2591,8 min), lo que indica que un **26%** del tiempo total utilizado **está destinado exclusivamente al rebabado**.

3.1.4.4 Elaboración del Ciclo del Operador

Finalmente, para finalizar con el relevamiento de la situación actual de la línea, se construyó el ciclo del operador basándonos en los datos registrados en la tabla base, incluyendo la secuencia de las actividades manuales, su frecuencia y duración, con el objetivo de tener una representación gráfica de los movimientos realizados por el operario durante el ciclo de producción.

Para ello, se utilizó el layout existente del área de trabajo, que representa la distribución del sector y la posición de la máquina junto con los elementos asociados al proceso. Sobre este layout, se identificaron las posiciones de trabajo y zonas de interacción mediante letras del abecedario.

A partir de estas posiciones, se describieron los recorridos que realiza el operario para cada actividad manual, indicando cómo se desplaza entre los distintos puntos del área de trabajo para completar sus tareas.

Por último, se midieron las distancias entre cada zona o posición, con el fin de calcular la distancia recorrida por el operario para ejecutar cada actividad.

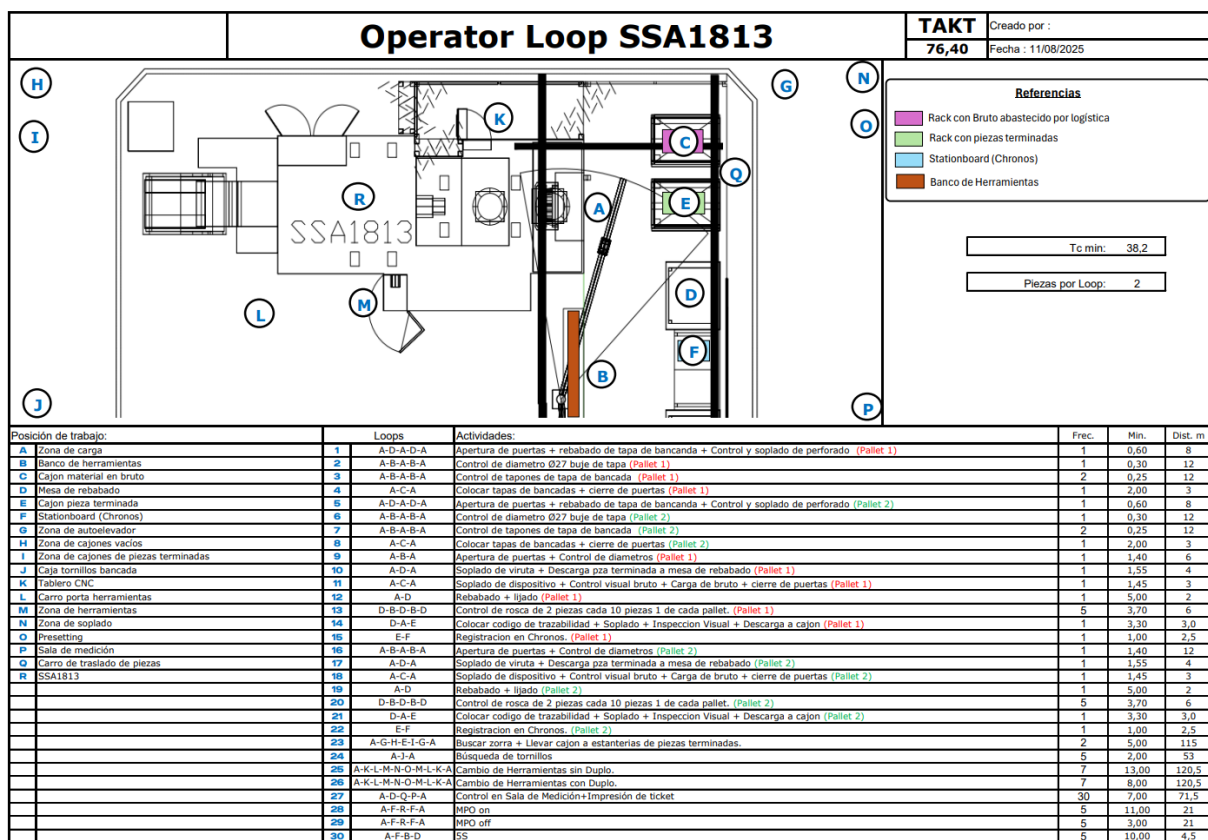


Figura 23: Ciclo del Operador del centro de mecanizado SSA1813

3.2 Análisis técnico del impacto de la automatización:

Teniendo en cuenta la futura implementación de la celda de rebabado automático, se realizó un análisis de la situación proyectada de la línea en el mismo centro de mecanizado SSA1813, considerando la eliminación de esta actividad del alcance de los operarios. El objetivo fue determinar el impacto de la automatización sobre la carga del trabajo manual y sobre la organización de la línea.

En primer lugar, se ajustó el método de trabajo de los operarios y la secuencia y tiempos de algunas tareas. Los principales cambios fueron los siguientes:

- La pieza ya no se descargará en la mesa de rebabado, sino que pasa directamente al cajón de piezas terminadas, por lo que el tiempo de esta actividad pasa a ser de 0 minutos, junto con la del rebabado propiamente dicha.
- Al no efectuarse el rebabado manual, desaparece el doble soplado de la pieza, reduciendo nuevamente el tiempo de operación.
- El control de rosca se definió sobre la pieza cargada directamente en la máquina, eliminando la necesidad de realizarlo en la mesa.
- Se incorporó un proyecto complementario en el cual los operarios de logística se encargarán de trasladar los cajones a las estanterías de piezas terminadas, por lo que el tiempo destinado a esa actividad por los operarios de producción se considera de 0 minutos en el nuevo escenario.

Con estas modificaciones, se elaboró un nuevo diagrama Hombre – Máquina (Figura 24), en el cual se reflejan los tiempos ajustados y la nueva distribución de actividades del operario. La tabla base utilizada para la elaboración del mismo se encuentra en el **Anexo 4**.

DIAGRAMA HOMBRE MAQUINA sin rebabado- SSA1813 - PN866

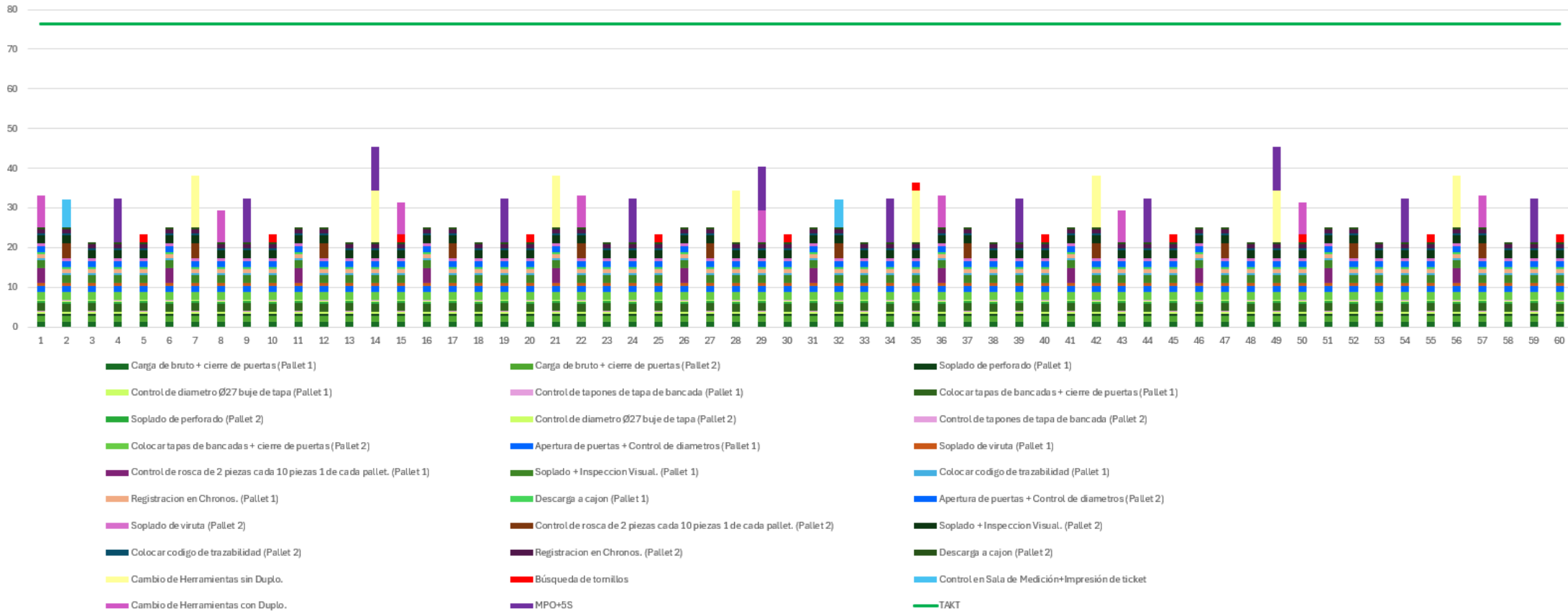


Figura 24: Diagrama Hombre – Máquina sin rebabado del centro de mecanizado SSA1813

Posteriormente, se recalculó el índice K de ocupación del operario utilizando la misma fórmula definida anteriormente.

En este caso, el tiempo total de actividades manuales —resultado de la suma de la última fila de la tabla correspondiente a los 60 loops— se redujo significativamente alcanzando un valor de 1721,8 minutos, lo que representa una disminución del 33,57% respecto del tiempo inicial.

Cabe destacar que, si bien la eliminación del rebabado y de tareas asociadas reduce de manera significativa el tiempo de actividades manuales, el Tiempo de Ciclo del proceso se mantiene en 76,4 minutos. Esto se debe a que el rebabado no constituía una actividad crítica dentro de la secuencia que define el ciclo completo; en otras palabras, el TC continúa determinado por la combinación de las operaciones de mecanizado y de aquellas actividades manuales que permanecen como limitantes. Por este motivo, el tiempo total disponible para el cálculo del índice K no se modifica, manteniéndose en 4584 minutos para el horizonte de 60 loops.

Con estos valores, ahora el índice K será:

$$K (\%) = \frac{1721,8}{4584} \times 100 = 37,6\%$$

El valor obtenido para el nuevo índice K resulta **considerablemente menor** respecto del índice actual, lo que refleja que los operarios dispondrán de una capacidad ociosa mucho más elevada dentro del ciclo de la máquina, ocupando solo un 37,6% del tiempo total disponible para realizar las tareas manuales.

Este análisis técnico confirma que la incorporación de la celda de rebabado automático representa una mejora en términos de ergonomía y seguridad al eliminar una tarea de exigencia física y reducir la exposición a riesgos derivados de la manipulación de piezas con bordes filosos y herramientas de corte.

Sin embargo, la notable disminución de la carga de trabajo manual debido a esta automatización, genera **largos períodos de inactividad para los operarios**, lo que abre la oportunidad de implementar mejoras en la organización operativa de la línea, orientadas a un mejor aprovechamiento del tiempo disponible de los operarios y al rebalanceo de la carga de trabajo mediante la **optimización de la dotación**.

PROPUESTAS DE MEJORA DE LA DOTACIÓN

El análisis realizado en el capítulo anterior evidenció que la automatización del proceso de rebabado incrementa de forma significativa los períodos de inactividad de los operarios, reduciendo su nivel de ocupación dentro del ciclo de trabajo. Frente a este escenario, surge la oportunidad de replantear la organización de la dotación con el fin de aprovechar de manera más eficiente el tiempo disponible del personal.

4.1 Situación actual de la dotación

Centros de mecanizado:

Actualmente, la línea de mecanizado de carcasas cuenta con nueve centros de mecanizado (CM), cada uno de los cuales es operado por un operario por turno, dando un total de 27 operarios distribuidos en tres turnos rotativos de ocho horas.

Sector lavadora:

En el área de la máquina lavadora y control final se desempeñan dos operarios por turno: uno encargado de operar la lavadora y otro del Quality Gate, es decir, del control final de calidad, sumando seis operarios en total.

Sala de Presetting:

En la sala donde se preparan las herramientas de corte y se realizan ajustes previos a la producción, trabaja un operario por turno bajo un esquema de cuatro turnos diarios, es decir, cuatro operarios en total.

Supervisión y calidad

El área cuenta con tres Team Leaders (uno por turno), encargados de coordinar y dar supervisión a los operarios, asegurar el cumplimiento de la producción, resolver problemas operativos, apoyar técnicamente al personal y garantiza la seguridad; además, un QMAN (Quality Manager) presente durante un único turno, cumpliendo la función de soporte técnico en materia de calidad.

En conjunto, la dotación total de la línea está conformada por 41 **operarios**, distribuidos entre los distintos sectores y turnos de trabajo.

En la Figura 25, se muestra la disposición actual de los Centros de Mecanizado y la distribución de los operarios en la línea.

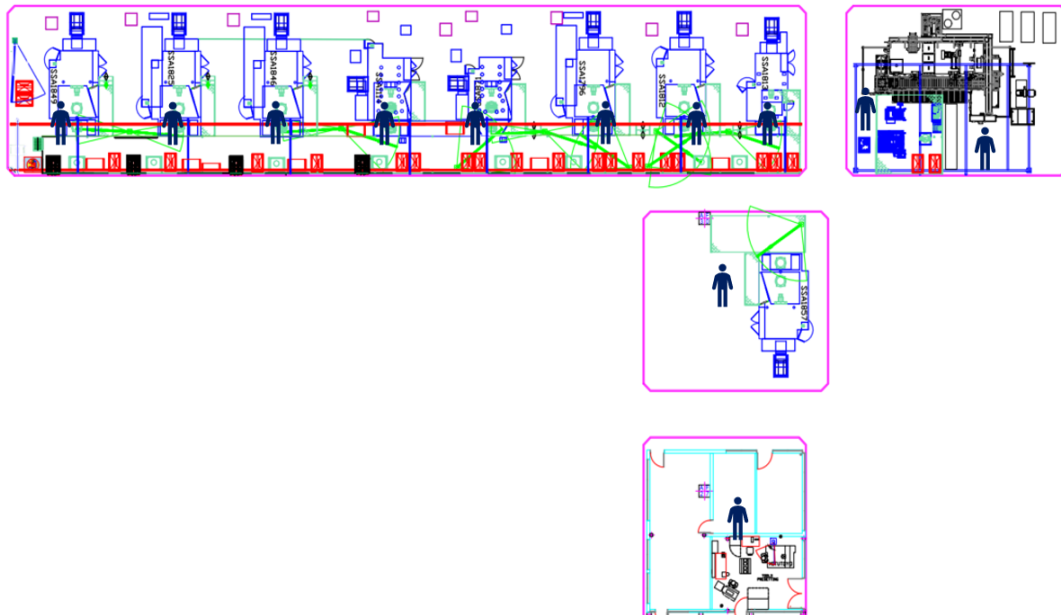


Figura 25: Distribución actual de los operarios en la línea de carcasas

Cabe destacar que, una vez implementada la celda con el robot automático en el sector de la lavadora, se mantendrán las posiciones actualmente asignadas en esa zona. Sin embargo, el operario que hoy se encarga de la lavadora pasará a desempeñar el rol de operador de la celda robotizada, asegurando la continuidad de las tareas de carga, descarga y supervisión del proceso automatizado.

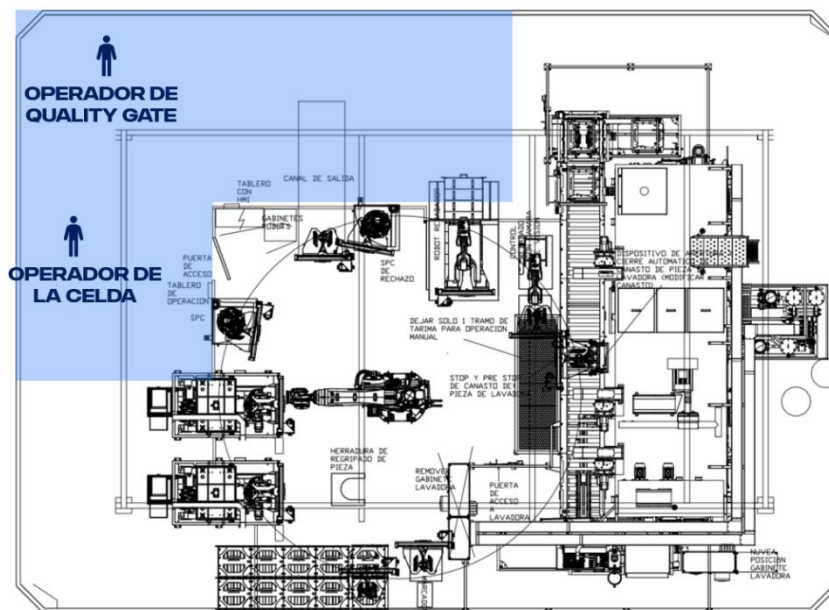


Figura 26: Distribución del personal en el sector de la celda automatizada

A partir de la situación actual descrita, en este capítulo se presentarán distintas estrategias de optimización de la dotación operativa, orientadas a minimizar los períodos de inactividad detectados tras la automatización del rebabado, contemplando la redistribución de tareas y nuevas asignaciones de máquinas por operario.

4.2 Propuesta 1: Esquema de un operario cada 3 Centros de Mecanizado

Durante una primera etapa de análisis, y considerando la incorporación de dos nuevos Centros de Mecanizado en el año 2023 (el SSA1846 y el SSA1849), se evaluó la posibilidad de dar de baja los dos equipos más antiguos de la línea, los centros **SSA1114 y SSA857**.

En ese escenario de 7 Centros de Mecanizado activos, se planteó una primera propuesta de reorganización de la dotación, basada en un esquema mixto, donde un operario estaría a cargo de tres centros de mecanizado, mientras que otros dos operarios serían responsables de operar dos máquinas cada uno. Esta configuración busca utilizar de manera eficiente los tiempos de inactividad del personal generados por la automatización del rebabado, permitiendo que un mismo trabajador pudiera atender varios equipos durante los períodos automáticos de los centros.

Sin embargo, este nuevo esquema de trabajo requiere reducir la duración de los turnos operativos, ya que la atención simultánea de tres centros de mecanizado por parte de un mismo operario implica una mayor carga física y cognitiva. Con el fin de evitar la sobre exigencia del personal y garantizar condiciones adecuadas de seguridad y rendimiento, se evaluó la necesidad de ampliar la cobertura horaria de producción a cuatro turnos de 6 horas cada uno, de manera que cada trabajador tuviera una jornada más corta y equilibrada.

La propuesta también implica una reorganización del layout operativo, dado que la eliminación de dos centros modifica la disposición general de la línea. En este nuevo esquema, se propone reubicar el centro de mecanizado SSA1857, actualmente ubicado frente al resto, trasladándolo al espacio que ocupan los centros SSA857 y SSA1114. De esta manera, todos los equipos quedarían alineados en una misma hilera, facilitando los desplazamientos de los operarios.

En la Fig. 27 se presenta el layout resultante de la línea considerando la baja de los centros SSA1114 y SSA857 y la reubicación del SSA1857.

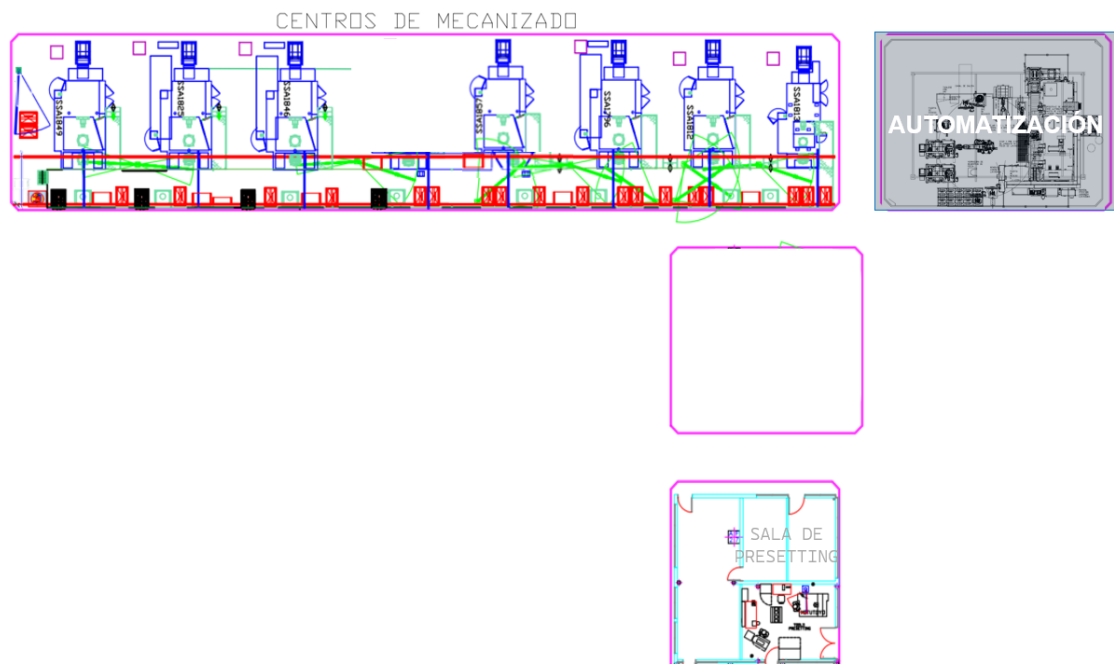


Figura 27: Layout propuesto con siete Centros de Mecanizado activos.

Asimismo, se detalla la asignación de los operarios según el esquema propuesto, indicando que centros quedarían a cargo de cada uno.

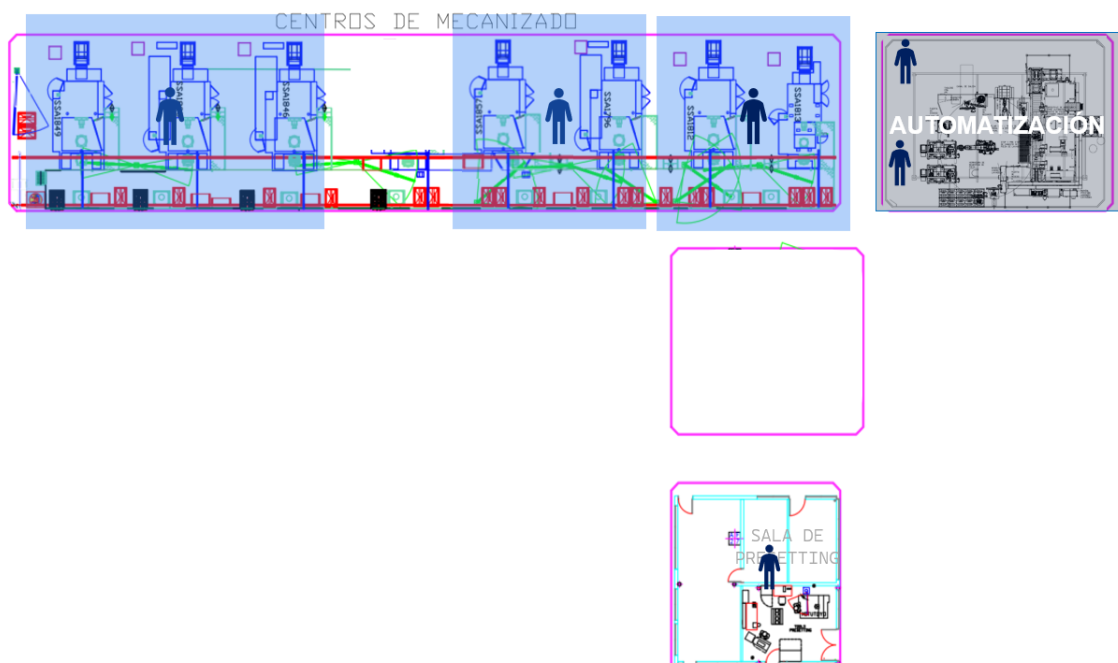


Figura 28: Distribución de operarios por Centro de Mecanizado según el primer esquema propuesto.

Área de centros de mecanizado:

- ✓ 1 operario manejando SSA1849, SSA1825 y SSA1846

- ✓ 1 operario manejando SSA1857 y SSA1796
- ✓ 1 operario manejando SSA1812 y SSA1813
- ✓ 4 turnos de trabajo

Total: 12 operarios trabajando en el área de los centros de mecanizado.

Celda con robot automático en área de lavadora:

- ✓ 1 operador de celda
- ✓ 1 operador de Quality Gate
- ✓ 3 turnos

Total: 6 operarios trabajando en el sector del automatismo

Sala de presetting:

- ✓ 1 operario
- ✓ 4 turnos de trabajo

Total: 4 operarios en sala de presetting

Además, la línea cuenta con 3 Team Leaders que rotan en 3 turnos y un QMAN presente en un único turno diario.

En resumen, la línea operaría con un total de 26 trabajadores.

En la Tabla 9 se puede observar cómo quedarán los conjuntos de máquinas junto con los respectivos artículos y tiempos de ciclo de cada uno:

		SCANIA					RB885	CAM							
PN		1322056	1540473	1442866	1519122	2499004	3020735	2916745	2825276	2870923	3025896	2863353	2958917	2874089	3087833
Máquina						X									
1 OP	SSA1849					X									
	SSA1825		X				X	X	X	X	X	X	X	X	X
	SSA1846		X				X	X	X	X	X	X	X	X	X
BAJA	SSA1114					X									
	SSA871					X									
1 OP	SSA1796		X				X	X	X	X	X	X	X	X	X
	SSA1857	X	X	X	X										
1 OP	SSA1812	X		X	X	X									
	SSA1813	X		X	X										
	Tiempo de ciclo (min)	39	70	38,2	40,35	56,26	77,33	42	50	48	46	46	46	48	48

Tabla 9: Tabla del conjunto de máquinas correspondiente a la primer propuesta con sus respectivos PNs y TCs

4.3 Propuesta 2: Esquema de un operario cada 2 Centros de Mecanizado

Como segunda alternativa, se analizó mantener los nueve centros de mecanizado en operación y reorganizar la dotación bajo un esquema de un operario cada dos centros. De este modo, cuatro operarios estarían a cargo de dos CM cada uno, mientras que un quinto

operario se ocuparía exclusivamente del centro SSA1857, debido a su ubicación frente al resto de los centros. La asignación individual de este último equipo se debe a que su ubicación obligaría al operario a cruzar el pasillo de tránsito de manera constante, lo cual representaría un riesgo ergonómico y de seguridad, haciendo inviable su operación conjunta con otro CM.

Esta propuesta surge como una alternativa más equilibrada entre eficiencia y factibilidad, ya que permite redistribuir la carga de trabajo de manera uniforme y aprovechar el tiempo disponible de los operarios sin comprometer la seguridad ni la calidad del proceso. Además, permite mantener un nivel de ocupación adecuado para cada operario aprovechando los tiempos en que la máquina opera de manera automática, para que un mismo trabajador pueda atender dos equipos sin generar demoras.

El esquema mantiene la organización actual de tres turnos de trabajo, garantizando la cobertura completa de la línea sin necesidad de modificar la jornada laboral.

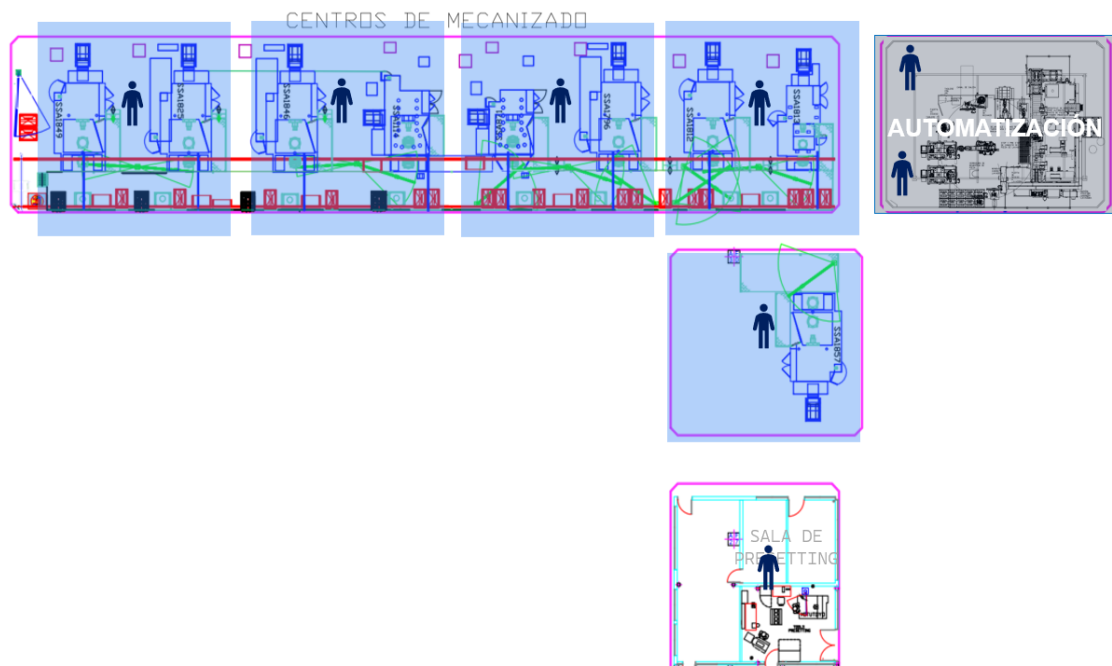


Figura 29: Distribución de operarios por Centro de Mecanizado según el segundo esquema propuesto.

En la figura 29 se muestra como quedaría la distribución de los operarios en la línea de mecanizado bajo esta nueva configuración y, a continuación, se detalla la asignación de operarios en cada centro según la propuesta:

Área de centros de mecanizado:

- ✓ 1 operario manejando SSA1849 y SSA1825
- ✓ 1 operario manejando SSA1846 y SSA1114
- ✓ 1 operario manejando SSA857 y SSA1796
- ✓ 1 operario manejando SSA1812 y SSA1813

- ✓ 1 operario manejando únicamente el SSA1857
- ✓ 3 turnos de trabajo

Total: 15 operarios trabajando en el área de los centros de mecanizado

El resto de los sectores mantiene la distribución actual, al igual que el número de Team Leaders y el QMAN.

En resumen, la línea quedaría operando con un total de 29 trabajadores.

De esta manera, se optimiza la utilización del tiempo operativo de los trabajadores sin comprometer la seguridad ni la capacidad productiva de la línea.

Por último, se observa la Tabla 10 que contiene los conjuntos de máquinas junto con los respectivos artículos y tiempos de ciclo de cada uno:

		SCANIA					RB885	CAM							
PN		1322056	1540473	1442866	1519122	2499004	3020735	2916745	2825276	2870923	3025896	2863353	2958917	2874089	3087833
Máquina															
1 OP	SSA1849					X									
	SSA1825		X				X	X	X	X	X	X	X	X	X
1 OP	SSA1846		X				X	X	X	X	X	X	X	X	X
	SSA1114					X									
1 OP	SSA871					X									
	SSA1796		X				X	X	X	X	X	X	X	X	X
1 OP	SSA1812	X		X	X	X									
	SSA1813	X		X	X										
1 OP	SSA1857	X	X	X	X										
	Tiempo de ciclo (min)	39	70	38,2	40,35	56,26	77,33	42	50	48	46	46	46	48	48

Tabla 10: Tabla del conjunto de máquinas correspondiente a la segunda propuesta con sus respectivos PNs y TCs

4.4 Evaluación de las alternativas propuestas

Luego del análisis y de la evaluación de las alternativas planteadas, correspondiente al quinto paso del procedimiento básico del estudio de métodos planteado en el capítulo 2, se definió mantener los nueve centros de mecanizado en funcionamiento. Esta decisión se basó principalmente en la expectativa de un incremento en la demanda de un nuevo modelo de diferencial (CAM), lo que hizo conveniente conservar la capacidad instalada completa para responder ante eventuales aumentos de producción.

Adicionalmente, desde el punto de vista estratégico y operativo, se consideró que es más conveniente sostener el esquema de tres turnos de trabajo, ya que permite operar de forma más holgada y disponer de tiempos para tareas de mantenimiento, calibraciones y ajustes de proceso sin comprometer la producción. En cambio, la reducción de equipos habría requerido reorganizar la jornada en cuatro turnos de trabajo, lo que implicaba una mayor complejidad operativa y menor flexibilidad.

Por estos motivos, los centros SSA1114 y SSA857 continuaron operativos, y la propuesta 1 —asociada al escenario de siete máquinas— no avanzó a etapas de análisis de tiempos ni carga de trabajo, quedando registrada como antecedente dentro del proceso de evaluación de alternativas de dotación.

Es así como se decidió continuar con la propuesta 2, basada en un esquema de un operario cada dos centros de mecanizado, bajo tres turnos de trabajo. En el siguiente capítulo se desarrollará el análisis de viabilidad de esta propuesta, a través del estudio detallado de tiempos, cargas de trabajo, definición de puestos de trabajo y simulaciones de flujo.

VALIDACIÓN DE LA SEGUNDA PROPUESTA

El presente capítulo tiene como objetivo analizar la viabilidad de la propuesta 2 desarrollada en el capítulo anterior, la cual establece un esquema de trabajo con nueve centros de mecanizado operando de forma simultánea y un operario asignado cada dos máquinas, a excepción de un único operario en el centro SSA1857, todos operando bajo un régimen de tres turnos rotativos.

Para validar esta propuesta, se llevó a cabo un estudio detallado que incluyó la elaboración del diagrama Hombre-Máquina del conjunto de centros, la evaluación de cargas de trabajo, la definición de puestos y responsabilidades operativas, el ciclo del operador y la simulación del flujo productivo resultante.

Dicho estudio se realizó considerando el conjunto de máquinas más desfavorable, correspondiente a las **SSA1812 y SSA1813**, que producen el artículo **PN866**, el cual presenta el menor tiempo de ciclo entre las variantes de carcasa fabricadas, que es de 38,2 minutos. Este escenario representa el caso crítico o “cuello de botella”, ya que implica la mayor exigencia operativa para el personal asignado.

5.1 Definición del nuevo método

La presente validación corresponde al sexto paso del procedimiento básico del estudio de métodos definido en el capítulo 2, que consiste en la definición del nuevo método de trabajo. En esta etapa se busca establecer de forma clara la organización operativa más eficiente y práctica, incorporando los aprendizajes obtenidos en los pasos previos, y presentar la propuesta a todos los actores involucrados en el proceso productivo.

5.1.1 Elaboración diagrama Hombre – Máquina del conjunto

En primera instancia, se procedió a la elaboración del diagrama H-M conjunto de las máquinas SSA1812 y SSA1813, tomando como base los siguientes supuestos:

1. Uniformidad de actividades: se asumió que las actividades a realizar en el centro SSA1812 serían idénticas a las del mecanizado del PN866 en el centro SSA1813, utilizando los tiempos ya relevados para este último. De este modo, la evaluación conjunta se basa en una duplicación de tareas, sin introducir diferencias en los procedimientos ni en la secuencia de operaciones.
2. Base de datos utilizada: la construcción del diagrama partió de la misma tabla utilizada previamente para el diagrama Hombre-Máquina del SSA1813, duplicando todas las actividades para incorporar el funcionamiento del SSA1812.

3. Enfoque crítico: el análisis se centró en estas dos máquinas como caso crítico o cuello de botella, dado que su conjunto representa la mayor exigencia operativa para el personal asignado.

Además, como se mencionó previamente, el tiempo de ciclo considerado para la elaboración del diagrama corresponde al doble del TC de una pieza individual, resultando en 76,4 minutos. Esto se debe a que en estos centros de mecanizado se trabaja con dos pallets en simultaneo, procesando dos piezas por loop.

De esta manera, al construir el diagrama H-M del conjunto de máquinas, el tiempo de ciclo total del sistema se mantiene en 76,4 minutos, ya que ambas operan de forma paralela y avanzan en simultaneo en sus respectivos procesos.

A partir de estos supuestos, se elaboró la tabla base que servirá como punto de partida para la construcción del diagrama, presentada en el **Anexo 5**.

En la Figura 30 se presenta el diagrama H-M del conjunto de máquinas SSA1812 y SSA1813, elaborado a partir de la tabla base del Anexo 5.

DIAGRAMA HOMBRE MAQUINA - SSA1813 & SSA1812 - PN866

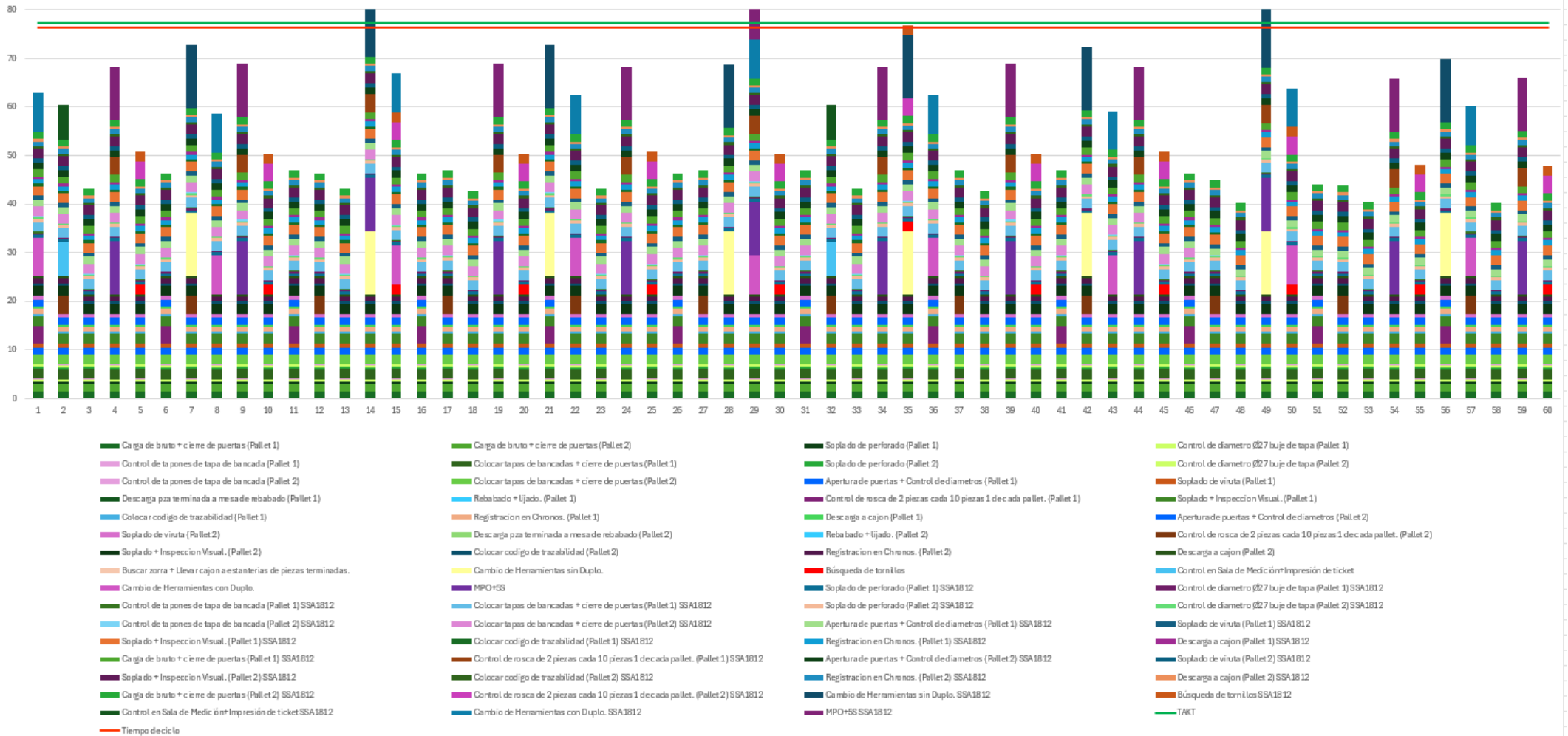


Figura 30: Diagrama Hombre - Máquina del conjunto SSA1813 & SSA1812

Al analizar el diagrama, se evidencia un desequilibrio en la distribución de tareas del operario a lo largo de los distintos loops. En algunos de ellos, específicamente en el 14, 29, 35 y 49, la sumatoria del tiempo de las actividades manuales excede el tiempo de ciclo disponible (indicado por la línea naranja), lo que implica que el operario no lograría completar todas las tareas dentro del ciclo de mecanizado.

Esta situación se debe principalmente a que, al duplicar las actividades correspondientes al centro SSA1813 para representar el funcionamiento conjunto con el SSA1812, no se consideró un desfase temporal entre ambas máquinas, por lo que varias operaciones coinciden en el tiempo. Como resultado, se genera una superposición de tareas que dificulta la ejecución continua y ordenada del proceso.

Como consecuencia de este desbalance, el tiempo de ciclo deja de ser el parámetro limitante del sistema, dado que en múltiples loops las actividades manuales superan su duración. En su lugar, el TAKT time (representado por la línea verde) pasa a ser el nuevo tiempo de referencia, marcando el ritmo máximo posible de producción bajo las condiciones actuales.

Esto implica que la operación conjunta de los centros planteada bajo la organización original de tareas no permitiría sostener el ritmo de producción establecido y el operario no alcanzaría a atender ambas máquinas sin generar demoras ni tiempos de espera acumulados.

Para corregir esta situación, se reorganizó el inicio de determinadas actividades, aplicando un desfase temporal entre ambos centros de mecanizado, con el objetivo de lograr una secuencia más equilibrada y continua. Para ello, se ajustó el inicio de ciertas actividades manuales, de modo que mientras una máquina se encuentra mecanizando, el operario pueda realizar tareas en la otra, evitando solapamientos y posibles interferencias de las máquinas⁴. Las modificaciones o desfases aplicados se concentraron en aquellas actividades que no se realizan en todos los loops, sino en intervalos determinados. De esta manera, se buscó evitar coincidencias innecesarias entre los ciclos de ambas máquinas, manteniendo la sincronización únicamente en aquellas operaciones donde resulta beneficiosa para la eficiencia global.

Las modificaciones implementadas fueron las siguientes:

- Control de rosca: se modificó el inicio de esta actividad —realizada en 2 piezas cada diez, una de cada pallet— en ambos pallets de la SSA1812, adelantándola tres loops respecto de la SSA1813, con el fin de evitar que ambas máquinas requieran la intervención del operario de manera simultánea.

⁴ Se entiende por **interferencias de las máquinas** el hecho de que varias máquinas o (o procesos) estén esperando que las atienda el obrero encargado de ellas. (Oficina Internacional del Trabajo, 1996)

- Cambio de herramientas sin duplo: en esta actividad, llevada a cabo cada siete loops, se aplicó un desfase de tres loops entre ambos centros. De este modo, si en la SSA1813 el cambio se ejecuta en el loop 3, en la SSA1812 se realiza en el loop 6. En cambio, el cambio de herramientas con duplo se mantuvo sincronizado entre ambas máquinas, dado que su ejecución simultánea resulta más eficiente para el método de trabajo.
- Mantenimiento preventivo operativo (MPO): esta tarea, que se realiza una vez por turno, se desfasó un loop entre los centros. Así, si el MPO de la SSA1812 se lleva a cabo en el loop 1, en la SSA1813 se efectúa en el loop 2, y así sucesivamente.
- Control de piezas en sala de medición: esta actividad se efectúa cada dos días (equivalente a 30 loops), llevando dos piezas mecanizadas del turno correspondiente para ser medidas. El inicio de esta actividad se desfasó un día entre máquinas, siguiendo la rutina vigente de control por máquina, de modo que la SSA1812 y la SSA1813 mantengan turnos alternados en el envío de piezas a sala, respetando el cronograma actual de la planta.

Finalmente, la búsqueda de tornillos, que se realiza una vez por turno al finalizar el mismo, se mantuvo en simultáneo en ambas máquinas, ya que su ejecución conjunta al cierre de turno permite al operario dejar preparado el entorno de trabajo para el relevo siguiente, sin interferir con otras operaciones del ciclo.

Esta redistribución permitió eliminar los solapamientos críticos y sincronizar las operaciones de ambos equipos, optimizando el uso del tiempo del operario y reduciendo los períodos de espera, con lo cual el tiempo de ciclo se alineó con el takt time establecido.

Con estos ajustes, los cuales pueden observar en la tabla base modificada presentada en el **Anexo 6**, se obtuvo un diagrama Hombre-Máquina balanceado, en el cual las actividades del operario se distribuyen de manera uniforme a lo largo de los loops. Esta reorganización, garantiza que el conjunto opere dentro del TC establecido, asegurando que el operario pueda atender ambas máquinas sin generar retrasos.

A continuación, en la Figura 31, se presenta el diagrama H-M modificado:

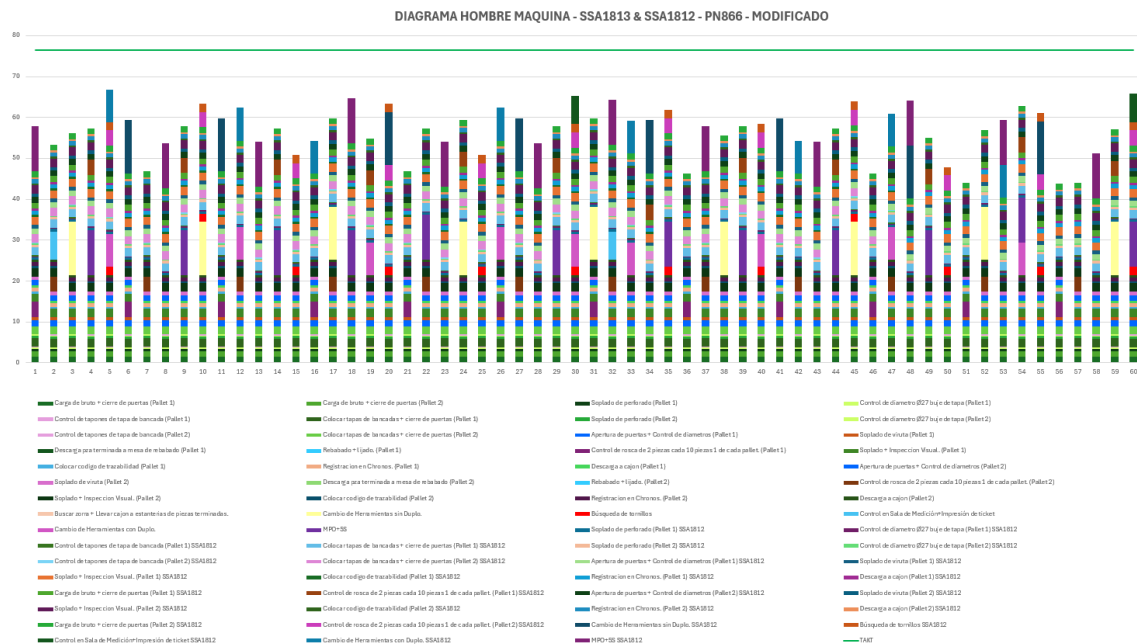


Figura 31: Diagrama Hombre- Máquina del conjunto SSA1813 & SSA1812 modificado

5.1.2 Cálculo del Índice K del conjunto

Para evaluar la carga de trabajo del operario en el conjunto de máquinas SSA1812 y SSA1813, se realizó el cálculo del índice de carga mediante la misma fórmula utilizada previamente en el capítulo 3:

$$K (\%) = \frac{\text{Tiempo total usado por el operario para actividades manuales}}{\text{Tiempo total disponible}} \times 100$$

En este caso, el tiempo total disponible se mantiene en 4.584 minutos, mientras que el tiempo total usado por el operario para actividades manuales asciende a 3.448,6 minutos.

Con estos valores, el índice K del conjunto de máquinas resulta:

$$K (\%) = \frac{3448,6}{4584} \times 100 = 75,2\%$$

El valor obtenido, de 75,2%, se considera aceptable, ya que como se mencionó anteriormente, en la industria se considera adecuado un índice cercano o por debajo del 85%. Por lo tanto, el resultado obtenido confirma que la redistribución de tareas aplicada permite mantener la operación dentro de parámetros adecuados de carga laboral. En consecuencia, esto indica que es factible que un operario este a cargo de dos máquinas simultáneamente sin que se produzca sobrecarga laboral.

5.1.3 Ciclo del operador del conjunto

Con la validación de la carga de trabajo y la confirmación de que un operario puede atender dos máquinas sin sobrecarga, se procedió a definir el **ciclo del operador** correspondiente a la nueva organización propuesta, con el objetivo de obtener la representación gráfica de los movimientos realizados por el operario durante el ciclo de producción.

Este nuevo ciclo se elaboró a partir de la tabla base modificada, utilizada para construir el diagrama H-M balanceado, identificando la secuencia completa de actividades del operario, su frecuencia y duración. Asimismo, se incorporaron las actividades de traslado del operario entre ambas máquinas, necesarias para reflejar la atención simultánea del conjunto.

Cabe destacar que en el capítulo 3 se había desarrollado el ciclo del operador actual correspondiente al centro de mecanizado SSA1813, con un operario asignado a dicha máquina. En esta oportunidad, se redefine el ciclo considerando la atención simultánea de los centros SSA1812 y SSA1813, incorporando los desfases aplicados y la redistribución de tareas detallada previamente y registrada en la tabla base modificada.

Para la elaboración del nuevo ciclo del operador, se tomó como base el layout actualizado, en el cual solo se dispone de una única mesa de rebabado ubicada entre ambas máquinas. Esta mesa será utilizada únicamente en los casos en que resulte necesario apoyar la pieza para realizar alguna intervención puntual, como ser, la limpieza previa al envío a la sala de medición, o bien en situaciones excepcionales en las que se produzca una falla en el sistema automático de rebabado y sea necesario efectuar un rebabado manual.

Sobre este layout se definieron las posiciones de trabajo y zonas de interacción, asignándoles letras del abecedario. A partir de estas posiciones se describieron los recorridos correspondientes nuevo esquema operativo, indicando como se desplaza el operario para realizar cada actividad manual en ambas máquinas. Finalmente, se calcularon las distancias recorridas por el operario para ejecutar cada actividad.

En la Figura 32, se presenta el nuevo ciclo del operador correspondiente al conjunto SSA1812-SSA1813.

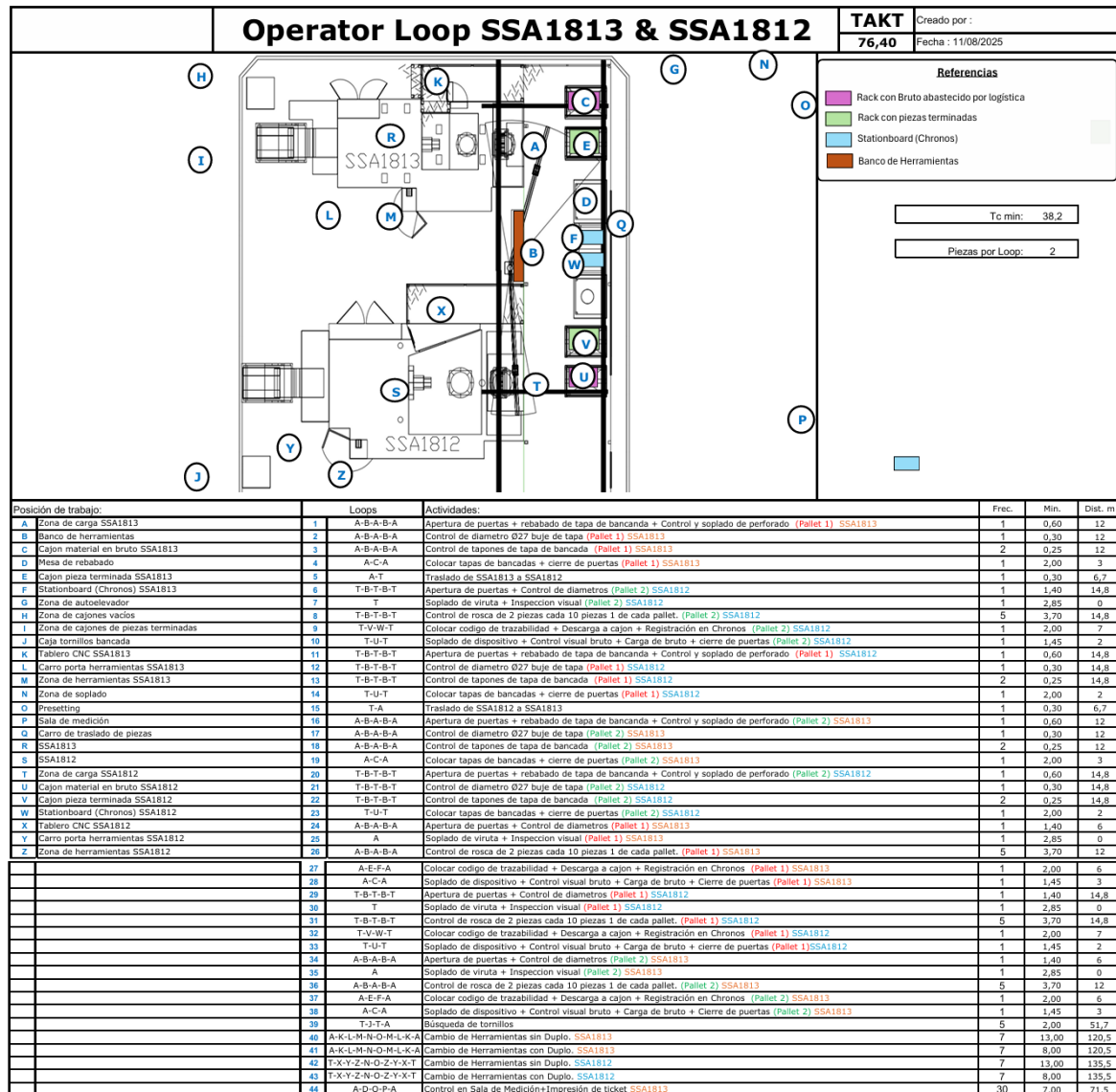


Figura 32: Ciclo del operador del conjunto de máquinas SSA1813 & SSA1812

5.1.4 Simulación de flujo del conjunto

Para evaluar el comportamiento del nuevo esquema de trabajo propuesto, se realizó una simulación del flujo operativo considerando un turno completo de 8 horas. No obstante, el tiempo efectivo de trabajo del operario es de 7,25 horas, equivalentes a 435 minutos, dado que se descuentan 45 minutos correspondientes a las pausas de desayuno, almuerzo o cena, según el turno. La misma, fue desarrollada en una hoja de cálculo de Excel, representando el flujo minuto a minuto mediante una escala temporal donde cada unidad equivale a un minuto de operación.

La simulación —presentada en el **Anexo 7**— se efectuó suponiendo que en ambas máquinas se produce el modelo de carcasa PN866, cuyo tiempo de ciclo total dijimos que es de 38,2 minutos, y tomando los tiempos reales de mecanizado e intervención manual relevados anteriormente. Bajo esta condición, se representó la secuencia de actividades manuales y automáticas del proceso, verificando la sincronización entre las operaciones de ambas máquinas y la ocupación del recurso humano.

Durante la simulación se detectaron tiempos de máquina parada acumulados de aproximadamente 16 minutos totales por turno. La mayor parte de estos tiempos no responde a una ineficiencia del esquema de dos máquinas, sino que son inherentes al propio proceso productivo. Incluso si el operario estuviera asignado a una sola máquina, se registrarían detenciones similares —por ejemplo, durante la realización de controles dimensionales de roscas—, en los cuales la máquina debe esperar a que el operario finalice su intervención. No obstante, en este caso, mientras una máquina se encuentra detenida, la otra continúa operando, por lo que dichas paradas se presentan de forma alternada y no simultánea.

Por lo tanto, estos tiempos de parada se consideran razonables y esperables dentro de la dinámica del proceso, y son parte del funcionamiento normal del sistema, ya que reflejan la interacción natural entre las operaciones automáticas y las tareas manuales.

En consecuencia, los resultados de la simulación confirman la viabilidad del esquema propuesto, evidenciando que la asistencia de ambas máquinas no genera sobrecarga laboral ni reducción significativa de productividad.

5.2 Consideraciones operativas para la implementación

Con el objetivo de asegurar una correcta puesta en marcha del nuevo esquema de trabajo, se definieron una serie de lineamientos operativos complementarios que permitirán garantizar su eficacia y sostenibilidad en el tiempo.

En primer lugar, se estableció que, durante el período de instalación del nuevo sistema de rebabado automático —previsto para la parada de verano—, los operarios recibirán capacitaciones específicas orientadas al conocimiento del nuevo esquema de trabajo, la secuencia de operaciones y las condiciones de seguridad asociadas. Estas instancias formativas permitirán familiarizar al personal con las nuevas rutinas y asegurar una transición ordenada hacia la modalidad de atención simultánea de dos máquinas.

Asimismo, se determinó que los Team Leader del sector serán los responsables de realizar los cambios de setup⁵ correspondientes en los centros de mecanizado, cada vez que sea necesario. Además, deberá mantener una presencia más activa en la línea, brindando soporte inmediato ante cualquier eventualidad que se presente durante la operación.

En caso de que una de las máquinas presente algún inconveniente técnico o detención no planificada, el operario deberá priorizar la continuidad del mecanizado en la máquina que se encuentre operativa, evitando interrupciones en la producción. En paralelo, el Team Leader será el encargado de gestionar la resolución del problema, ya sea mediante acciones correctivas directas o solicitando la intervención del área de mantenimiento.

Estas definiciones operativas resultan fundamentales para garantizar la estabilidad del sistema, la continuidad del flujo productivo y la adecuada distribución de responsabilidades dentro del equipo de trabajo.

⁵ Se entiende por setup al conjunto de actividades necesarias para preparar una máquina antes de iniciar la producción de un nuevo artículo o modelo, lo que incluye el cambio de herramientas, la actualización de parámetros del programa, el ajuste de fijaciones o calibres, entre otros.

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

Con el objetivo de evaluar la viabilidad económica de la automatización del proceso de rebabado en la línea de carcasas, se realizó un análisis económico – financiero que contempla tanto los costos de inversión como los beneficios esperados derivados de la implementación del automatismo.

El análisis busca determinar si el proyecto resulta rentable para la planta mediante la evaluación de indicadores financieros, así como el plazo de recuperación de la inversión, considerando dos escenarios operativos:

- Escenario 1: contempla la automatización con la dotación actual.
- Escenario 2: se incorpora la reorganización de la dotación analizada en el capítulo 5.

6.1 Análisis económico de los escenarios considerados

El monto de la inversión se determinó a partir de la información contenida en la *Request for Quotation* (RFQ), o solicitud de cotización, documento en el cual se detallaron los requerimientos técnicos y operativos del equipo a los proveedores, con el fin de obtener propuestas ajustadas a las necesidades de la planta.

Cabe aclarar que los valores utilizados en el presente análisis son **representativos**, con el propósito de reflejar las condiciones reales de inversión y operación de forma aproximada.

La inversión total considerada, que contempla la adquisición, transporte, instalación, inspecciones mecánicas y eléctricas, conectividad, capacitación y puesta en marcha, asciende a **350.000 U\$D**.

Asimismo, se considera un volumen anual de producción de **30.000 carcasas**, correspondiente a un año de operación normal.

Como en este caso no tendremos ingresos directos, se considera que todos los **ahorros directos** generados por la automatización serán nuestros beneficios o ingresos “indirectos”. Los mismos se detallan a continuación para cada escenario.

Escenario 1: Automatización con dotación actual

En este escenario se evalúa el flujo de fondos considerando únicamente los beneficios derivados de la reducción de rechazos de piezas y la disminución de los costos asociados al uso y mantenimiento de las herramientas de rebabado manual, como fresas, limas y lijas.

No se contemplan las modificaciones en la cantidad de operarios asignados al proceso.

- a) Ahorro por reducción de rechazos

La mayor precisión del rebabado automatizado permite disminuir los rechazos de piezas en aproximadamente un 0,5%.

En este caso, el costo de un rechazo se asimila al costo de oportunidad de no concretar la venta de una pieza conforme, es decir, el valor de mercado de dicha pieza, el cual se estimó en 200 U\$D.

El ahorro anual puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$\text{Ahorro } x \text{ rechazo} = \text{Producción anual} \times \text{Precio unitario} \times \text{Reducción de rechazos}$$

$$\text{Ahorro } x \text{ rechazo} = 30.000 \frac{\text{piezas}}{\text{año}} \times 200 \frac{\text{USD}}{\text{pieza}} \times 0,005 = \mathbf{30.000 \frac{USD}{año}}$$

Por lo tanto, la reducción de rechazos implica un ahorro anual de **30.000U\$D**.

b) Ahorro por uso de herramientas

El rebabado manual produce un desgaste irregular y acelerado de las herramientas, lo que genera costos recurrentes por reposición y mantenimiento.

Con la automatización, el desgaste se reduce significativamente, ya que el proceso se realiza bajo condiciones controladas y con sin intervención humana.

Debido a la dificultad de cuantificar este efecto con precisión, se estima un ahorro anual representativo de **10.000 U\$D**, asociado a la disminución en el consumo de herramientas, insumos y mantenimiento.

Ahorro total anual – Escenario 1:

$$\text{Ahorro total anual } E1 = \text{Ahorro } x \text{ rechazos} + \text{Ahorro } x \text{ herramientas}$$

$$\text{Ahorro total anual } E1 = 30.000 + 10.000 = 40.000 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Escenario 2: Automatización con dotación optimizada

En este segundo escenario se incorpora, además de los beneficios mencionados anteriormente, la optimización de la dotación operativa propuesta en el Capítulo 5. Dicha reorganización permite mantener la operación de los nueve centros de mecanizado con una cantidad menor de operarios, lo que se traduce en un ahorro anual equivalente a 12 puestos operativos.

El costo laboral anual considerado se estimó a partir de un sueldo bruto promedio, sin distinguir cargas sociales, y teniendo en cuenta que los operarios rotan sus horarios de trabajo de modo que la línea se mantenga en producción continua de lunes a viernes durante las 24 horas.

Bajo estas condiciones, el costo laboral anual promedio por operario asciende a **12.000 USD**, lo que genera un ahorro total de **144.000 USD anuales** asociado a la optimización de la dotación.

Ahorro total anual – Escenario 2:

$$\text{Ahorro total anual E2} = \text{Ahorro} \times \text{dotacion} + \text{Ahorro} \times \text{rechazos} + \text{Ahorro} \times \text{herram}$$

$$\text{Ahorro total anual E2} = 144.000 + 30.000 + 10.000 = 184.000 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

6.2 Análisis financiero

Con el objetivo de complementar el análisis económico anterior, se realizará un análisis financiero de los escenarios considerados, con el fin de evaluar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

Este análisis se basa en la proyección del flujo de caja anual y la evaluación de indicadores financieros clave como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el plazo de recuperación de la inversión.

6.2.1 Flujo de caja

Un flujo de caja (o cashflow) es un registro de los ingresos y egresos de dinero de un proyecto o empresa durante un período determinado. Sirve para mostrar cómo entra y sale el efectivo, permitiendo saber si el negocio tiene liquidez suficiente para operar y si una inversión es rentable. (Chain, 2008)

A continuación, se presentan los flujos de caja anuales proyectados a 10 años de los dos escenarios analizados, considerando los ahorros anuales calculados en la sección anterior y la inversión inicial de 350.000 U\$D. Ambos flujos provienen de una tabla de Excel utilizada por la empresa para realizar el análisis.

Al no ser el interés de este proyecto comparar la inversión con los posibles ingresos aportados por otra inversión del mismo calibre, los flujos se actualizarán considerando como tasa de descuento para análisis del VAN, la tasa de interés promedio que presenta el sistema financiero estadounidense en los últimos 10 años en un fondo típico de inversiones en la bolsa de valores. Este valor ronda del 9 al 10 %, se adoptará el valor más desfavorable para el caso a estudiar que sería un 10%. Cabe aclarar que no se tuvieron en cuenta actualizaciones de acuerdo con la inflación.

Flujo de caja escenario 1:

Resumen de flujo de caja de inversión												
Inversión	Celda de rebabado automatico para la línea de carcasas					VAN A 10% (USD)		\$-104.217		Tasa de descuento		10%
Fecha	2025/05/20					Reembolso (años)		10+				
Realizado por	Felicitas Lopez Garcia					TIR		3%				
Todos los montos en USD												
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Inversión												
Automatismo (celda)	\$	-350.000										
Egresos totales	\$	-350.000										
Flujo de caja operativo												
Operación (reducc de costos de herram)	\$	10.000	\$	10.000	\$	10.000	\$	10.000	\$	10.000	\$	10.000
Calidad (disminución de rechazos)	\$	30.000	\$	30.000	\$	30.000	\$	30.000	\$	30.000	\$	30.000
"Ingresos" totales	\$	40.000	\$	40.000	\$	40.000	\$	40.000	\$	40.000	\$	40.000
Flujo de caja actualizado a VAN	\$	-350.000	\$	36.364	\$	33.058	\$	30.053	\$	27.321	\$	24.837

Tabla 11: Flujo de caja del escenario 1 proyectado a 10 años

Resultado de los indicadores financieros:

VAN = -104.217 U\$D

TIR = 3%

Reembolso o período de recuperación de la inversión = mayor a 10 años.

Flujo de caja escenario 2:

Resumen de flujo de caja de inversión												
Inversión	Celda de rebabado automatico para la línea de carcasas					VAN A 10% (USD)		\$ 780.600		Tasa de descuento		10%
Fecha	2025/05/20					Reembolso (años)		2,2				
Realizado por	Felicitas Lopez Garcia					TIR		52%				
Todos los montos en USD												
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Inversión												
Automatismo (celda)	\$ -350.000											
Egresos totales	\$ -350.000											
Flujo de caja operativo												
Carga laboral	\$ 144.000	\$ 144.000	\$ 144.000	\$ 144.000	\$ 144.000	\$ 144.000	\$ 144.000	\$ 144.000	\$ 144.000	\$ 144.000	\$ 144.000	\$ 144.000
Operación (reducc de costos de herram)	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000
Calidad (disminución de rechazos)	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000
"Ingresos" totales	\$ 184.000	\$ 184.000	\$ 184.000	\$ 184.000	\$ 184.000	\$ 184.000	\$ 184.000	\$ 184.000	\$ 184.000	\$ 184.000	\$ 184.000	\$ 184.000
Flujo de caja actualizado a VAN	\$ -350.000	\$ 167.273	\$ 152.066	\$ 138.242	\$ 125.674	\$ 114.250	\$ 103.863	\$ 94.421	\$ 85.837	\$ 78.034	\$ 70.940	
Flujo de caja acumulado	\$ -182.727	\$ -30.661	\$ 107.581	\$ 233.255	\$ 347.505	\$ 451.368	\$ 545.789	\$ 631.626	\$ 709.660	\$ 780.600		

Tabla 12: Flujo de caja del escenario 2 proyectado a 10 años

Resultado de los indicadores financieros:

VAN = 780.600 U\$D

TIR = 52%

Reembolso o periodo de recuperación de la inversión = 2,2 años

6.2.2 Indicadores financieros

En el análisis económico de cualquier proyecto de inversión, los indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) juegan un papel crucial para determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto. A continuación, se explica detalladamente qué significan estos indicadores y cómo se interpretan.

6.2.2.1 Valor Actual Neto (VAN)

El **Valor Actual Neto (VAN)** es un indicador financiero que representa la diferencia entre el valor presente de los flujos de caja futuros esperados de un proyecto y la inversión inicial. El VAN se calcula descontando los flujos de caja futuros al presente utilizando una tasa de descuento, que refleja el costo de oportunidad del capital o la tasa mínima de rendimiento requerida por los inversores. A continuación, se presenta la forma de cálculo:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \times C_0$$

C_t = flujo de caja en el período t [USD]

C_0 = inversión inicial [USD]

n = número total de períodos del proyecto [años]

t = período en el que ocurre cada flujo de caja [años]

r = tasa de descuento [%/100] o costo de oportunidad. Refleja el rendimiento que se espera, como mínimo.

Interpretación del VAN:

- Un VAN positivo indica que el proyecto generará valor adicional para los inversores, ya que los flujos de caja futuros, descontados al valor presente, son mayores que la inversión inicial.
- Un VAN negativo sugiere que el proyecto no es financieramente viable, ya que no generará suficientes flujos de caja futuros para justificar la inversión inicial.
- Un VAN de cero significa que el proyecto generará exactamente el rendimiento mínimo requerido por los inversores.

6.2.2.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de descuento que hace que el VAN de un proyecto sea igual a cero. En otras palabras, es la tasa de rendimiento esperada que un proyecto de inversión generará sobre la inversión inicial, basada en los flujos de caja futuros esperados. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \times C_0 = 0$$

donde TIR = r para aquel valor que hace que el VAN sea igual a 0.

Interpretación de la TIR:

- Si la TIR es mayor que la tasa de descuento o el costo de capital de la empresa, el proyecto se considera viable y rentable.
- Si la TIR es menor que la tasa de descuento, el proyecto no será financieramente atractivo.
- Una TIR igual a la tasa de descuento significa que el proyecto generará un rendimiento exactamente igual al costo de capital.

6.2.2.3 Reembolso o Período de recuperación de la inversión (Payback)

Indica el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a partir de los flujos de fondos netos generados por el proyecto. Cuanto menor sea el payback, más rápidamente se recupera la inversión y menor es el riesgo financiero.

En este trabajo, el cálculo se realiza considerando los flujos de caja actualizados, con el fin de reflejar de manera más precisa el valor temporal del dinero.

6.2.3 Interpretación de los resultados

El análisis financiero permite comparar la viabilidad del proyecto considerando los dos escenarios planteados.

El **escenario 1**, en el cual no se modifica la dotación de personal actual, el VAN obtenido es de -104.217USD (valor negativo) y la TIR alcanza apenas un 3%, siendo menor al costo de oportunidad. Esto demuestra que los ahorros generados no alcanzan a cubrir el monto de la inversión inicial dentro del horizonte de análisis y que, por lo tanto, la inversión no generaría el retorno esperado. A su vez, el período de recuperación de la misma supera los 10 años, tiempo que excede ampliamente los criterios de la empresa, que establece que para considerar una compra de maquinaria como económicamente justificable en términos de reducción de costos, el tiempo de retorno no debe ser mayor a 3 años. Esto refuerza que, bajo este esquema, la inversión no resultaría económicamente viable.

Por el contrario, el Escenario 2, que incorpora una reorganización de la dotación operativa, y por ende, mayores ahorros, arroja resultados altamente favorables. El proyecto presenta un VAN positivo de 780.600 USD, una TIR del 52%, significativamente superior a la tasa de descuento y un payback de apenas 2,2 años, lo que demuestra una rápida recuperación del capital invertido y una elevada rentabilidad.

A modo de síntesis, las Figuras 33 y 34 presentan el resumen gráfico de los flujos de caja anuales, el flujo acumulado y el plazo de recuperación para cada escenario, representado por la intersección de la curva con el eje de las abscisas. Como puede observarse, el escenario 1 no alcanza el reembolso en el horizonte de tiempo analizado.

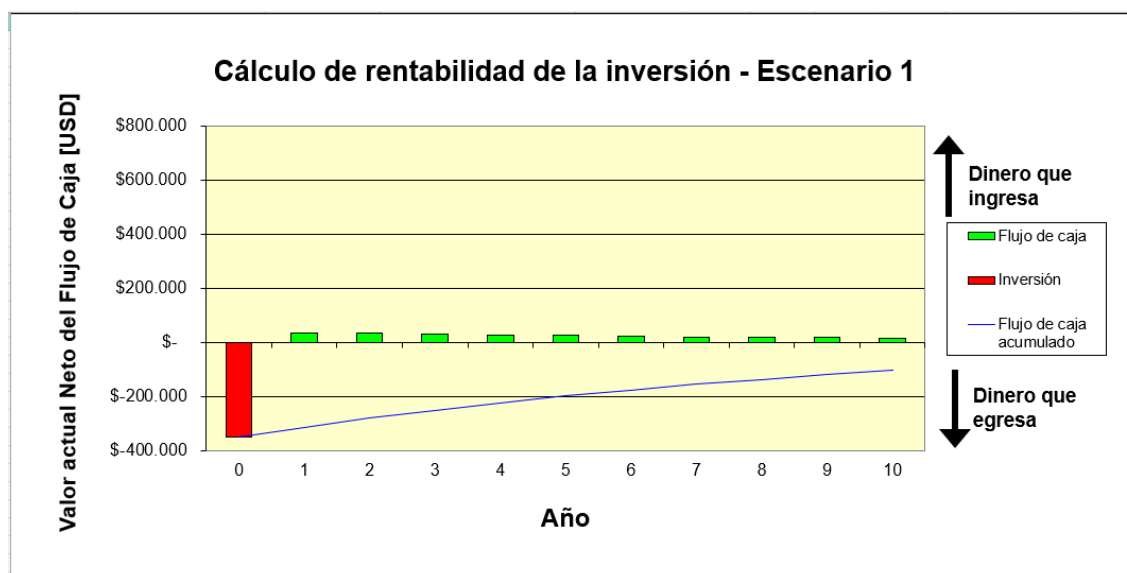


Figura 33: Resumen gráfico del análisis financiero del escenario 1

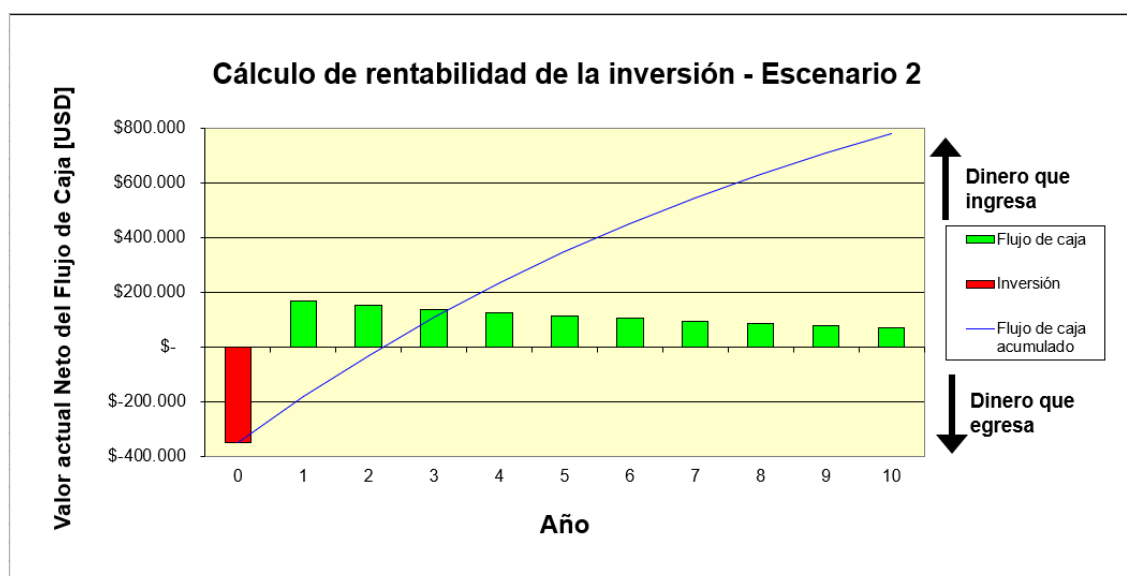


Figura 34: Resumen gráfico del análisis financiero del escenario 2

De esta manera, puede concluirse que la inversión solo se justifica económicamente si se acompaña de la reorganización de la dotación, dado que esta condición es la que permite materializar los beneficios económicos derivados de la automatización del proceso. Sin dicha optimización, el proyecto no alcanza niveles de rentabilidad que justifiquen su ejecución

CONCLUSIONES

La implementación de la celda automática de rebabado representa un avance significativo en términos de seguridad, ergonomía y eficiencia operativa. La eliminación del rebabado manual redujo la carga de trabajo físico de los operarios y permitió identificar períodos de inactividad que se pudieron aprovechar mediante una reorganización estratégica de la dotación.

El análisis técnico y económico demuestra que la redistribución de operarios permite mantener la eficiencia de la línea, optimizar recursos humanos y generar ahorros relevantes, asegurando la recuperación de la inversión en un período adecuado.

El análisis financiero reflejó que el proyecto de automatización solo es justificable cuando se implementa en conjunto con la optimización de la dotación operativa. Sin dicha optimización, la inversión no recupera su costo de oportunidad ni ofrece un retorno aceptable. Por lo tanto, la ejecución del proyecto deberá condicionarse a la implementación simultánea del plan de reorganización de personal y medidas asociadas que permitan capturar los ahorros laborales estimados.

En síntesis, la automatización del rebabado no solo contribuye a mejorar la calidad del producto y la seguridad del personal, sino que también evidencia la importancia de integrar herramientas de análisis operativas y financieras para sustentar decisiones de modernización tecnológica en líneas de producción complejas. Este proyecto brinda una propuesta integral que puede ser replicada o adaptada a otros procesos similares dentro de la industria automotriz, fortaleciendo la competitividad y la sostenibilidad de la empresa.

Anexo 1: Hoja de instrucción para montaje de tapas de bancada

Anexo 2: Hoja de instrucciones para rebabado manual

77

Anexo 3: Tabla base utilizada para la posterior elaboración del Diagrama Hombre - Máquina del centro de mecanizado SSA1813

Tc 1 pieza				DIAGRAMA HOMBRE MAQUINA - SSA1813 - PN866																																																									
38,2 min																																																													
min																																																													
Duración																																																													
Inicio																																																													
min																																																													
Frec																																																													
Cada																																																													
Actividad																																																													
1																																																													
2																																																													
3																																																													
4																																																													
5																																																													
6																																																													
7																																																													
8																																																													
9																																																													
10																																																													
11																																																													
12																																																													
13																																																													
14																																																													
15																																																													
16																																																													
17																																																													
18																																																													
19																																																													
20																																																													
21																																																													
22																																																													
23																																																													
24																																																													
25																																																													
26																																																													
27																																																													
28																																																													
29																																																													
30																																																													
31																																																													
32																																																													
33																																																													
34																																																													
35																																																													
36																																																													
37																																																													
38																																																													
39																																																													
40																																																													
41																																																													
42																																																													
43																																																													
44																																																													
45																																																													
46																																																													
47																																																													
48																																																													
49																																																													
50																																																													
51																																																													
52																																																													
53																																																													
54																																																													
55																																																													
56																																																													
57																																																													
58																																																													
59																																																													
60																																																													
Tiempo de Ciclo																																																													
TAKT																																																													
	1	0	0	Apertura de puertas + rebabado de tapa de bancanda (Pielot 1)																																																									
	1	0	0	Control de perforado (Pielot 1)																																																									
	1	0	0,6	Soplado de perforado (Pielot 1)																																																									
	1	0	0,3	Control de diametro B27 baje de tapa (Pielot 1)																																																									
	2	-1	0,25	Control de taponas de tapa de bancanda (Pielot 1)																																																									
	1	0	2	Colocar tapas de bancandas + cierre de puertas (Pielot 1)																																																									
	1	0	0	Apertura de puertas + rebabado de tapa de bancanda (Pielot 2)																																																									
	1	0	0	Control de perforado (Pielot 2)																																																									
	1	0	0,6	Soplado de perforado (Pielot 2)																																																									
	1	0	0,3	Control de diametro B27 baje de tapa (Pielot 2)																																																									
	2	0	0,25	Control de taponas de tapa de bancanda (Pielot 2)																																																									
	1	0	2	Colocar tapas de bancandas + cierre de puertas (Pielot 2)																																																									
	1	0	1,4	Apertura de puertas + Control de diametros (Pielot 1)																																																									
	1	0	0,85	Soplado de viruta (Pielot 1)																																																									
	1	0	0,7	Descarga pza terminada a mesa de rebabado (Pielot 1)																																																									
	1	0	0	Control visual bruto (Pielot 2)																																																									
	1	0	0	Soplado de dispositivo																																																									
	1	0	1,45	Carga de bruto + cierre de puertas (Pielot 3)																																																									
	1	1	5	Rebabado + lijado (Pielot 1)																																																									
	5	-1	3,7	Control de rosca de 2 piezas cada 10 piezas 1 de cada pallet. (Pielot 1)																																																									
	1	0	2,3	Soplado + Inspeccion Visual. (Pielot 1)																																																									
	1	0	0,5	Colocar codigo de trazabilidad (Pielot 1)																																																									
	1	0	1	Registracion en Cronos. (Pielot 1)																																																									
	1	0	0,5	Descarga a cajon (Pielot 1)																																																									
	1	0	1,4	Apertura de puertas + Control de diametros (Pielot 2)																																																									
	1	0	0,85	Soplado de viruta (Pielot 2)																																																									
	1	0	0,7	Descarga pza terminada a mesa de rebabado (Pielot 2)																																																									
	1	0	0	Control visual bruto (Pielot 2)																																																									
	1	0	0	Soplado de dispositivo																																																									
	1	0	1,45	Carga de bruto + cierre de puertas (Pielot 2)																																																									
	1	0	5	Rebabado + lijado (Pielot 2)																																																									
	5	0	3,7	Control de rosca de 2 piezas cada 10 piezas 1 de cada pallet. (Pielot 2)																																																									
	1	0	2,3	Soplado + Inspeccion Visual. (Pielot 2)																																																									
	1	0	0,5	Colocar codigo de trazabilidad (Pielot 2)																																																									
	1	0	1	Registracion en Cronos. (Pielot 2)																																																									
	1	0	0,5	Descarga a cajon (Pielot 2)																																																									
	2	0	5	Buscar zorra + Llevar cajon a estanterias de piezas terminadas.																																																									
	7	0	13	Cambio de Herramientas sin Duplo.																																																									
	5	0	2,0	Busqueda de tornillos																																																									
	30	-2	7	Control en Sala de Medicion+Impresion de ticket																																																									
	7	-1	8	Cambio de Herramientas con Duplo.																																																									
	5	1	11	NPO+55																																																									
Tiempo total de cada loop																																																													

Anexo 4: Tabla base utilizada para la elaboración del Diagrama Hombre – Máquina sin rebabado del centro de mecanizado SSA1813

Tc 1 pieza			Piezas por Loop		DIAGRAMA HOMBRE MAQUINA sin rebabado - SSA1813 - PN866																																																										
frec Cada		Duración min	min																																																												
Inicio		Actividad																																																													
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60																																																													
		Tiempo de Ciclo																																																													
		TAKT																																																													
		Apertura de puertas + rebabado de tapa de bancada (Palset 1)																																																													
		Control de perforado (Palset 1)																																																													
		Soplado de perforado (Palset 1)																																																													
		Control de diametro Ø27 buje de tapa (Palset 1)																																																													
		Control de tapones de tapa de bancada (Palset 1)																																																													
		Colocar tapas de bancadas + cierre de puertas (Palset 1)																																																													
		Apertura de puertas + rebabado de tapa de bancada (Palset 2)																																																													
		Control de perforado (Palset 2)																																																													
		Soplado de perforado (Palset 2)																																																													
		Control de diametro Ø27 buje de tapa (Palset 2)																																																													
		Control de tapones de tapa de bancada (Palset 2)																																																													
		Colocar tapas de bancadas + cierre de puertas (Palset 2)																																																													
		Apertura de puertas + Control de diámetros (Palset 1)																																																													
		Soplado de viruta (Palset 1)																																																													
		Descarga pza terminada a mesa de rebabado (Palset 1)																																																													
		Rebabado + lijado (Palset 1)																																																													
		Control de rosca de 2 piezas cada 10 piezas 1 de cada pallet (Palset 1)																																																													
		Seguimiento Inspeccion Visual (Palset 1)																																																													
		Colocar codigo de trazabilidad (Palset 1)																																																													
		Registracion en Chronos (Palset 1)																																																													
		Descarga a cajon (Palset 1)																																																													
		Control visual bruto (Palset 1)																																																													
		Soplado de dispositivo																																																													
		Carga de bruto + cierre de puertas (Palset 1)																																																													
		Apertura de puertas + Control de diámetros (Palset 2)																																																													
		Soplado de viruta (Palset 2)																																																													
		Descarga pza terminada a mesa de rebabado (Palset 2)																																																													
		Rebabado + lijado (Palset 2)																																																													
		Control de rosca de 2 piezas cada 20 piezas 1 de cada pallet (Palset 2)																																																													
		Seguimiento Inspeccion Visual (Palset 2)																																																													
		Colocar codigo de trazabilidad (Palset 2)																																																													
		Registracion en Chronos (Palset 2)																																																													
		Descarga a cajon (Palset 2)																																																													
		Control visual bruto (Palset 2)																																																													
		Soplado de dispositivo																																																													
		Carga de bruto + cierre de puertas (Palset 3)																																																													
		Buscar zona + llevar cajon a estanterias de piezas terminadas.																																																													
		Cambio de Herramientas sin Duplo.																																																													
		Búsqueda de tornillos																																																													
		Control en Sala de Medición+impresión de ticket																																																													
		Cambio de Herramientas con Duplo.																																																													
		NPO+SS																																																													
		Tiempo total de cada loop																																																													

Anexo 5: Tabla base utilizada para el diagrama H–M del conjunto SSA1813 & SSA1812

[illegible]

[illegible]

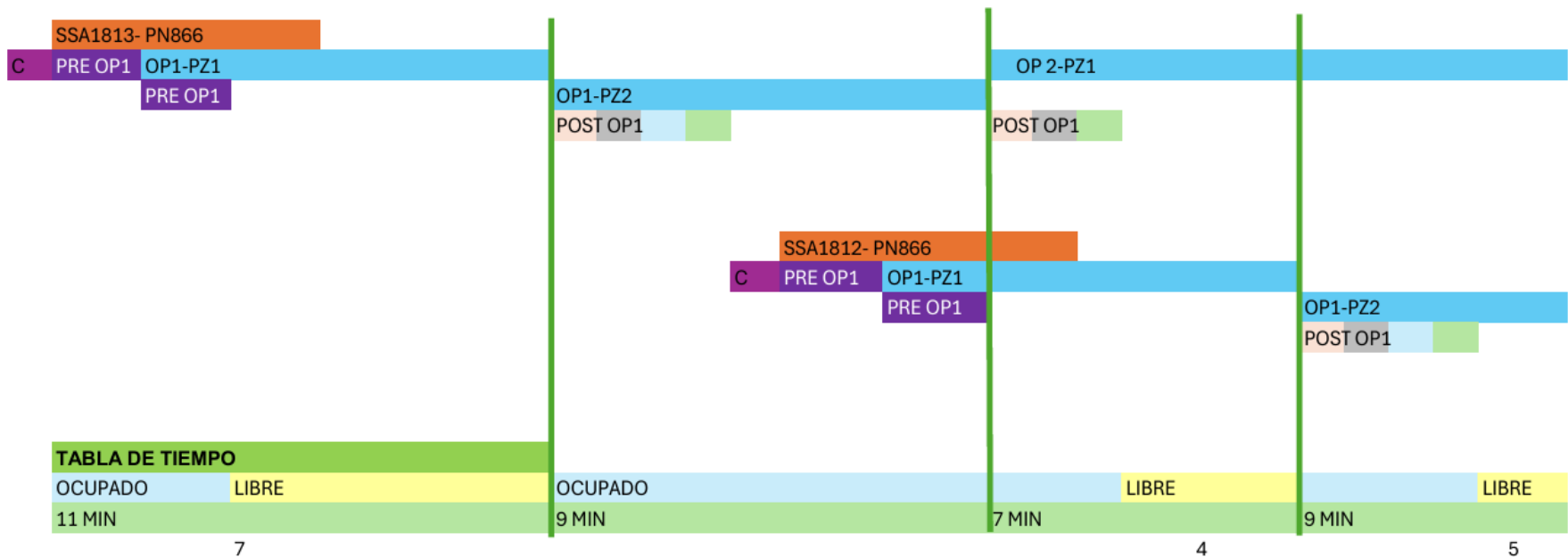
Tc 1 pieza	2	Piezas por Loop
	38,2	min

DIAGRAMA HOMBRE MÁQUINA modificado - SSA1813 & SSA1812

[illegible]

tiempo total de cada loop	57,6	53,6	55,9	57,6	60,6	59,6	46,6	53,9	57,6	63,6	59,6	62,6	53,9	57,6	50,6	54,6	59,6	64,9	54,6	63,6	46,6	57,6	53,9	59,6	50,6	62,6	59,6	53,9	57,6	65,6	59,6	64,6	58,9	50,6	61,6	46,6	57,6	55,9	57,6	58,6	59,6	54,6	53,9	57,6	63,6	46,6	62,6	60,9	57,6	50,6	46,6	50,6	61,9	65,6	63,6	46,6	46,6	53,9	59,6	68,6
---------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

SIMULACIÓN DE FLUJO del conjunto de máquinas SSA1813 & SSA1812



SSA1813 - PN866	
1 Operación	8,75
2 Operación	21,9
3 Operación-tapa	3,2
4 Operación-Carga	1,45
5 Operación-Descarga	2,92
TC TOTAL	38,2

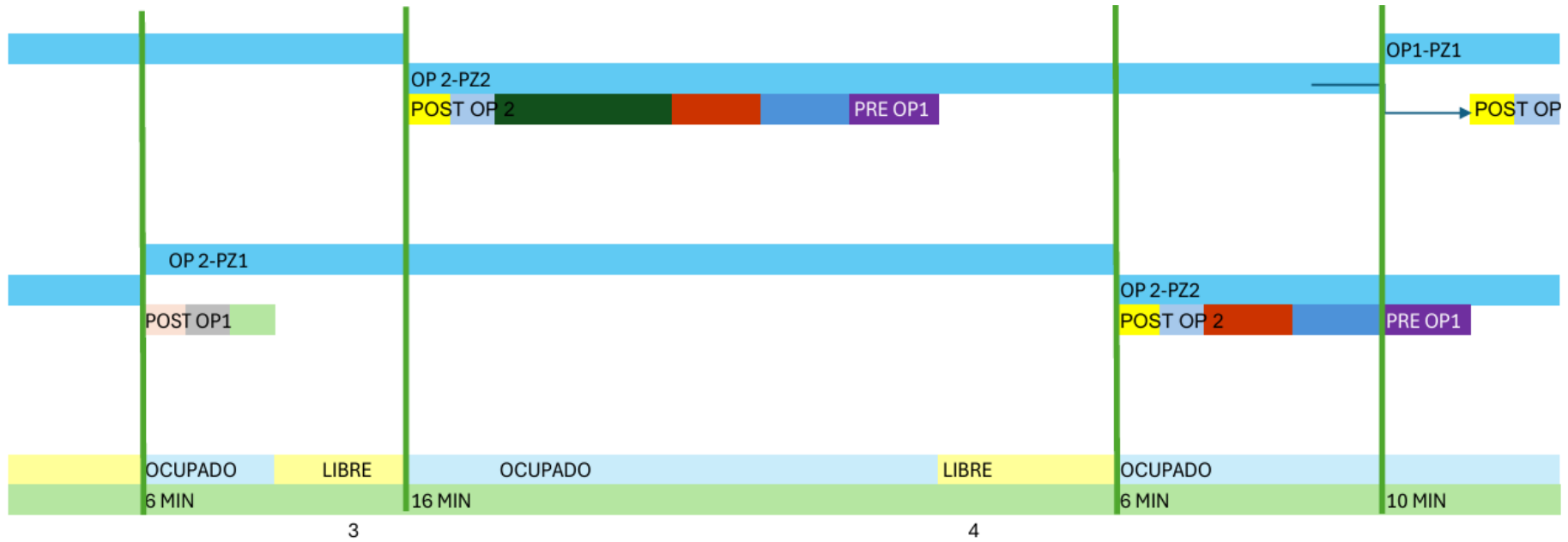
SSA1812 - PN866	
1 Operación	8,8
2 Operación	22
3 Operación-tapa	3,2
4 Operación-Carga	1,5
5 Operación-Descarga	2,92
TC TOTAL	38,2

TIEMPO TOTAL DISPONIBLE	435
TIEMPO TOTAL OCUPADO	379
TIEMPO TOTAL LIBRE	56

MAQUINA PARADA	16
----------------	----

Pre operación 1	
1,45 MIN	Control visual bruto
	Soplado de dispositivo
	Carga de bruto

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33



Post operación 1

3,2 MIN

- Rebabeado de tapa de bancanda
- Control de diametro Ø27 buje de tapa
- Control de tapones de tapa de bancada
- Colocar tapas de bancadas

Post operación 2

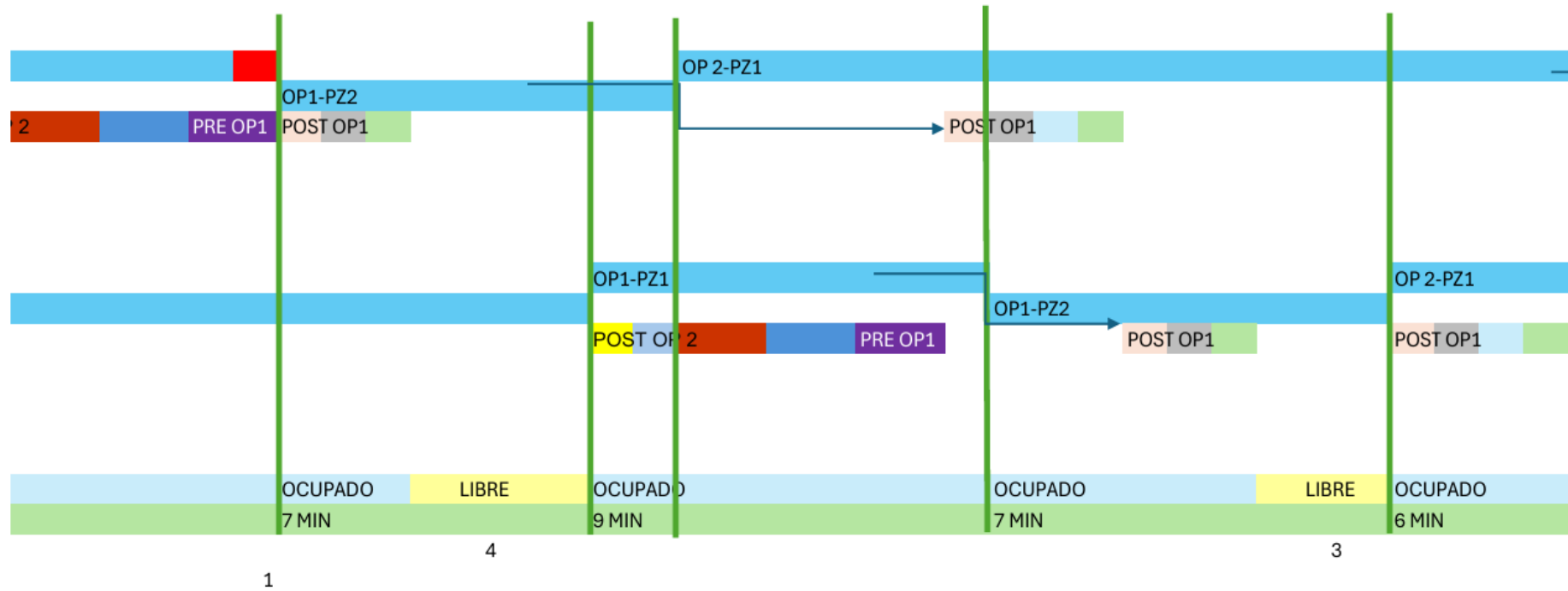
8 MIN

- Control de diametros
- Soplado de viruta
- Control de rosca de 2 piezas cada 10 piezas 1 de cada pallet
- Inspeccion Visual
- Código + Regist en Chronos +Descarga a cajon

Tareas adicionales

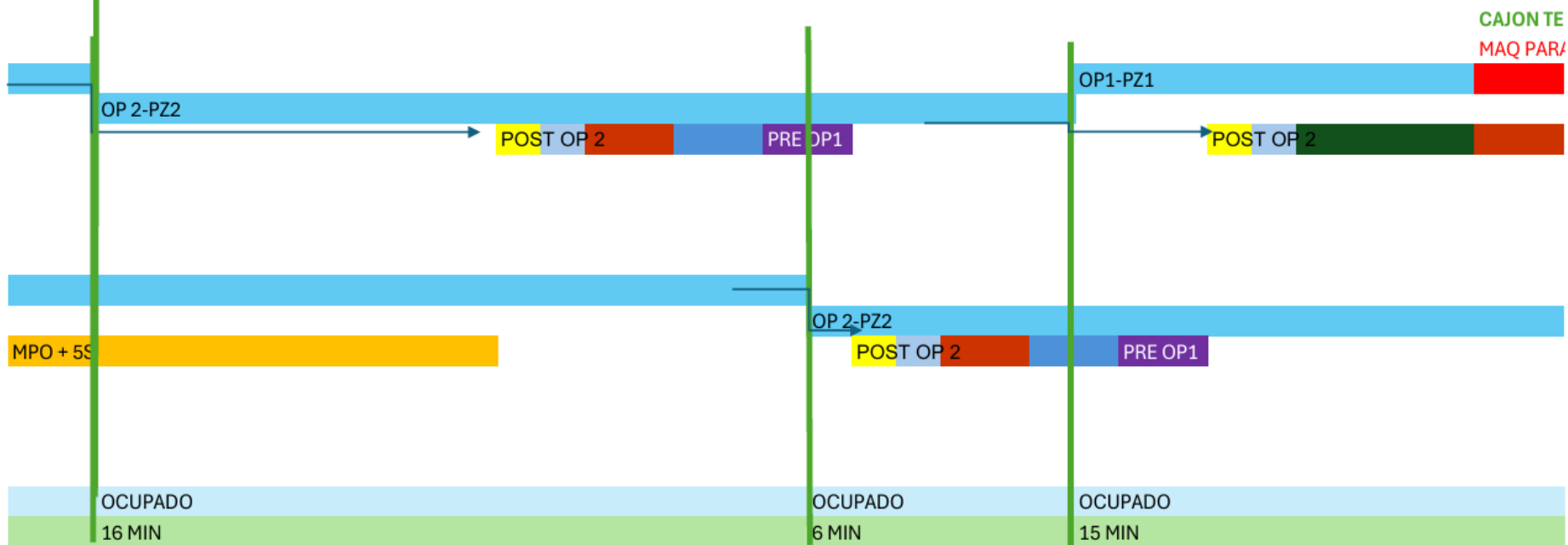
- 13 MIN** Cambio de herramientas sin Duplo
- 2 MIN** Búsqueda de tornillos
- 7 MIN** Control en Sala de Medición + Impresión
- 8 MIN** Cambio de herramientas con Duplo
- 11 MIN** MPO + 5S

34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 1 2 3 4 5 6 7 8



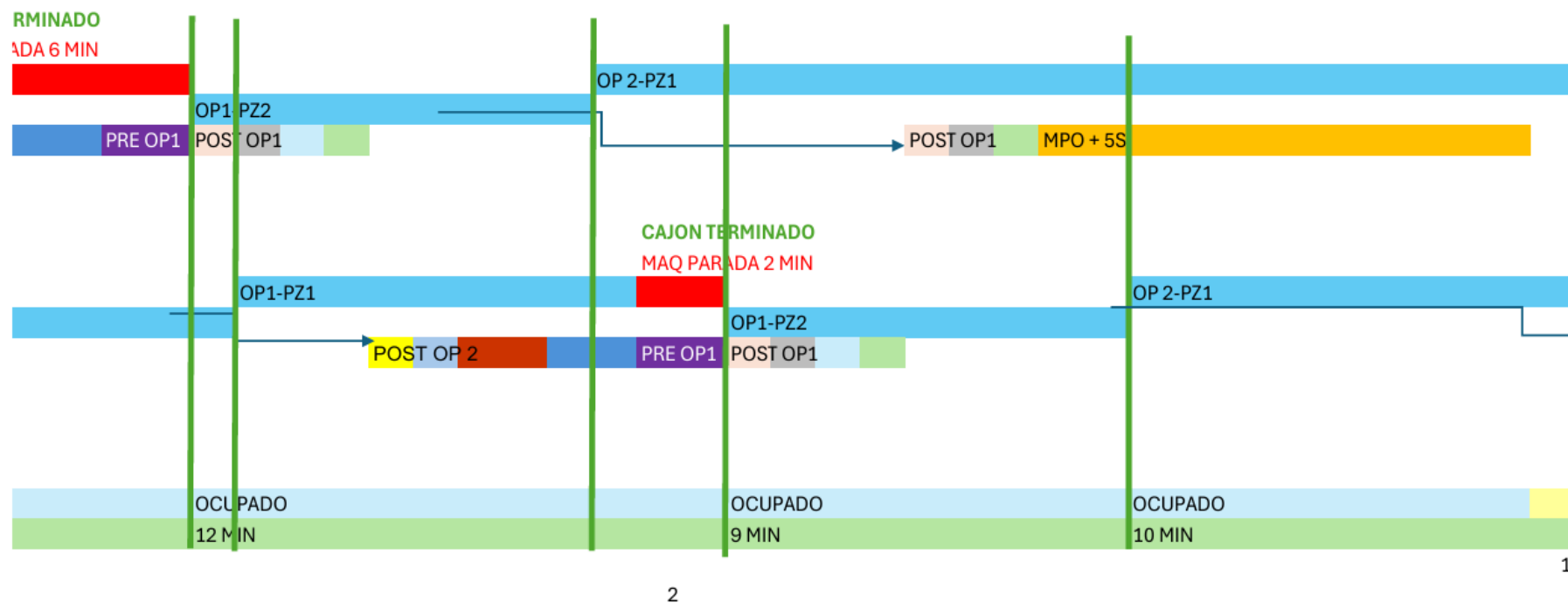
de tickets

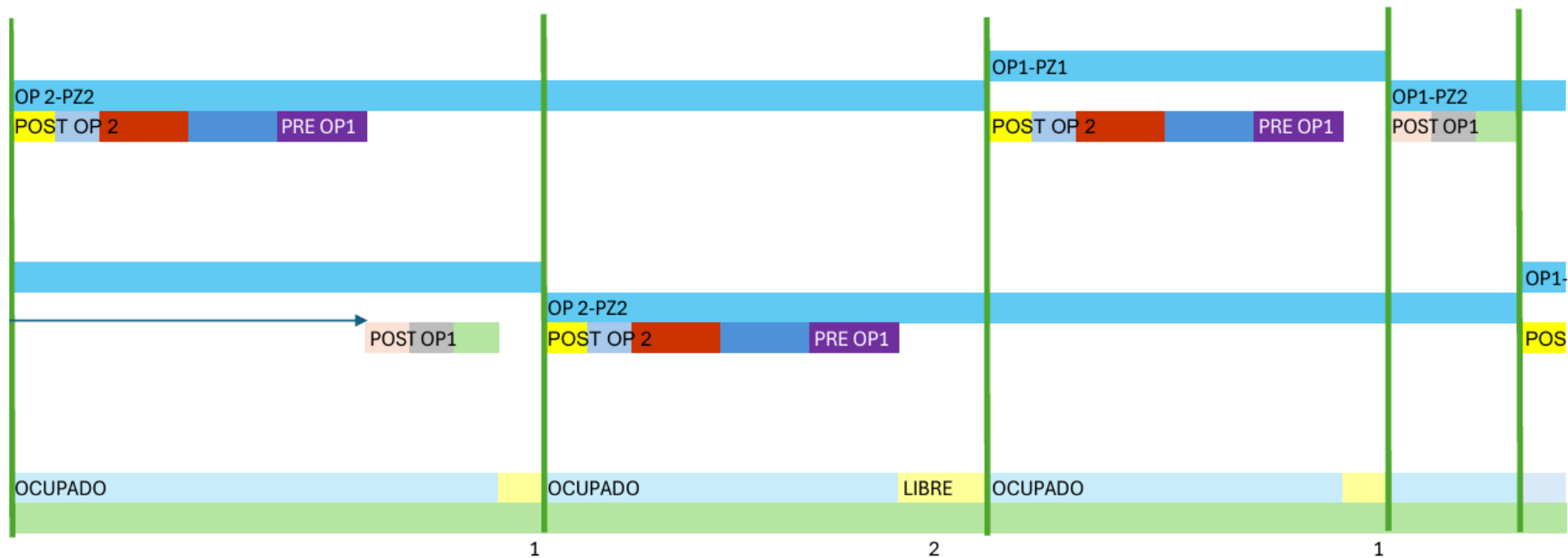
9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43



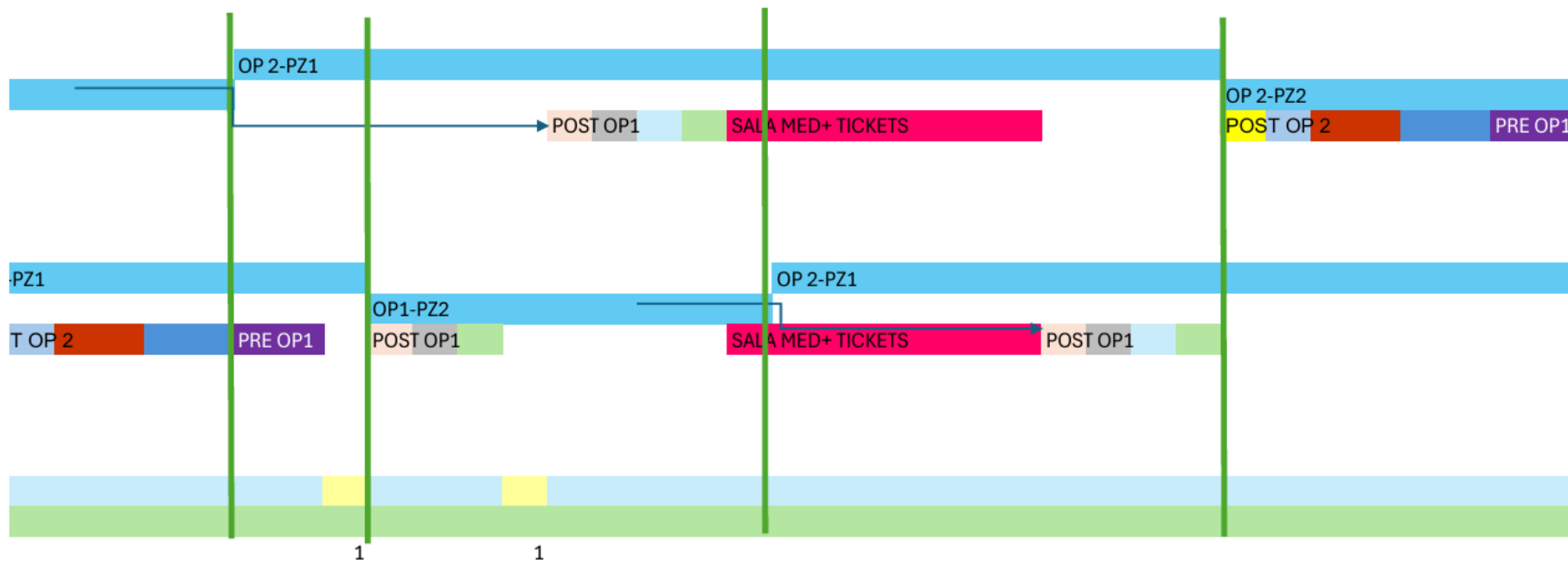
6

44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

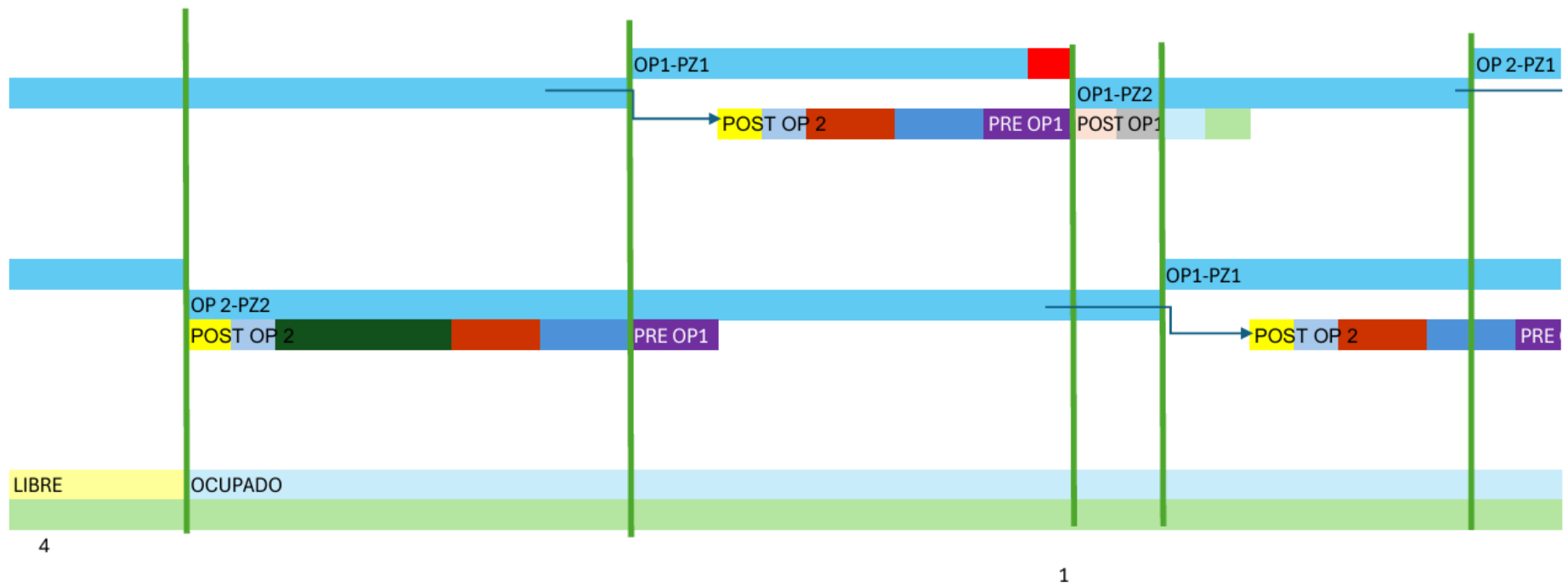


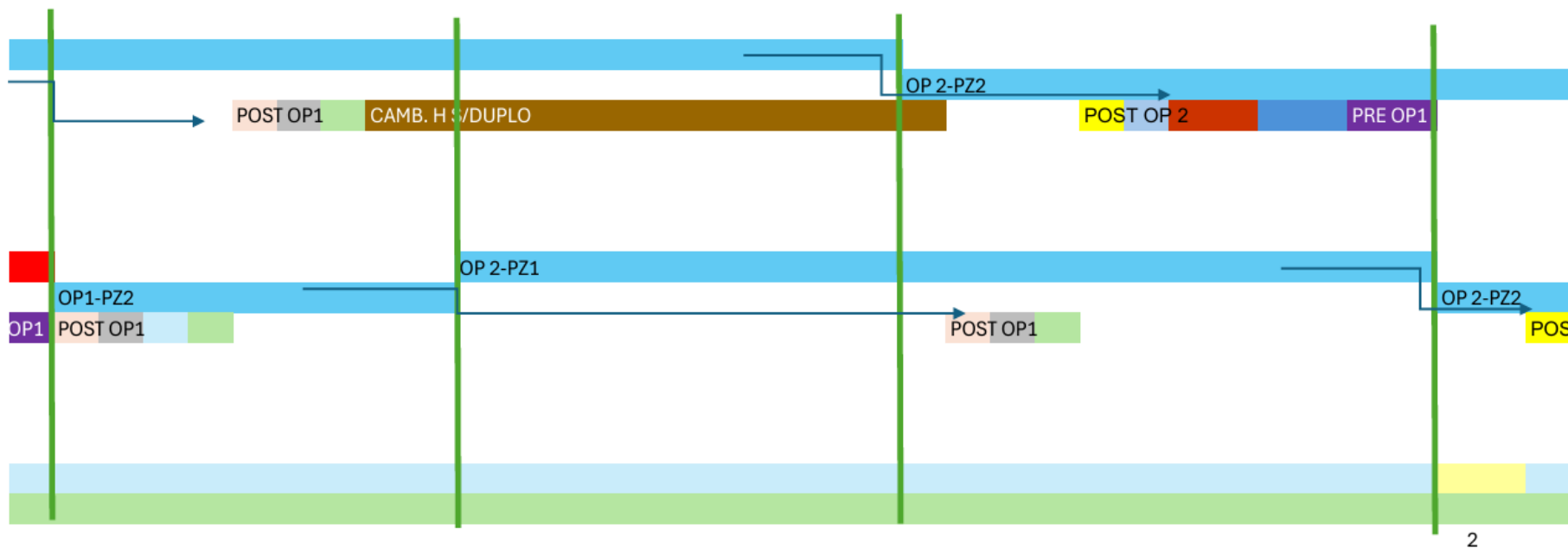


54 55 56 57 58 59 60 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28



29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 1 2 3

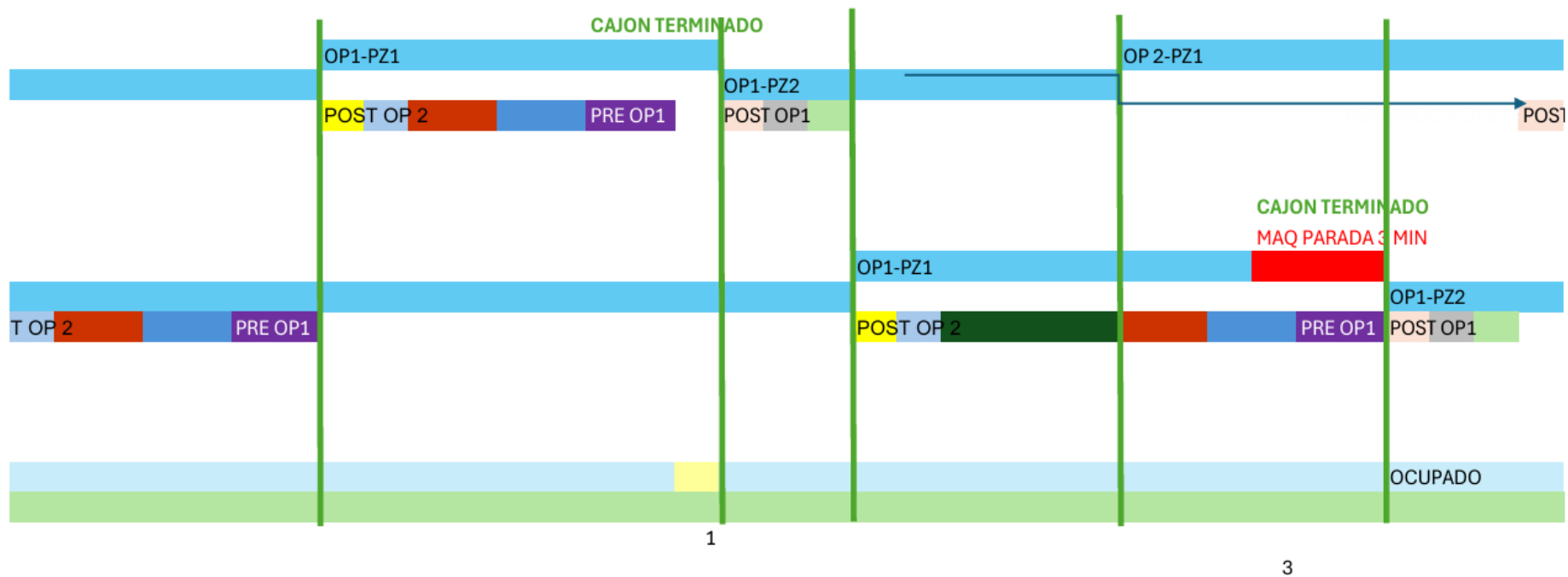




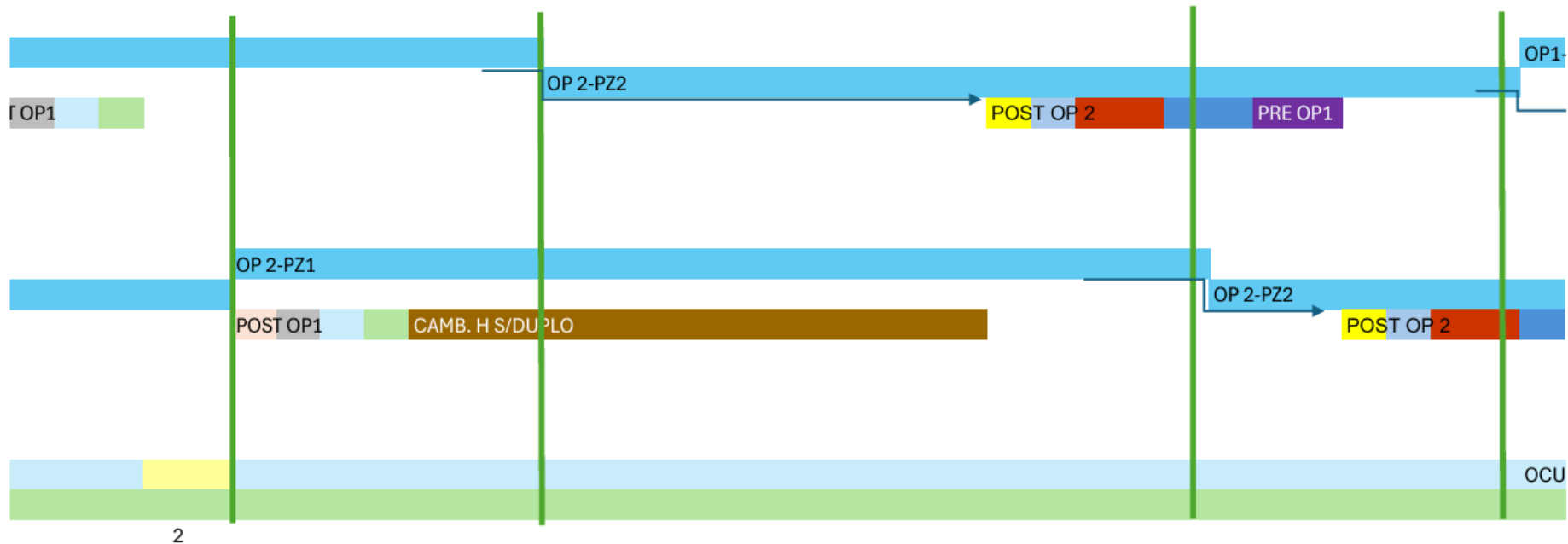
1

2

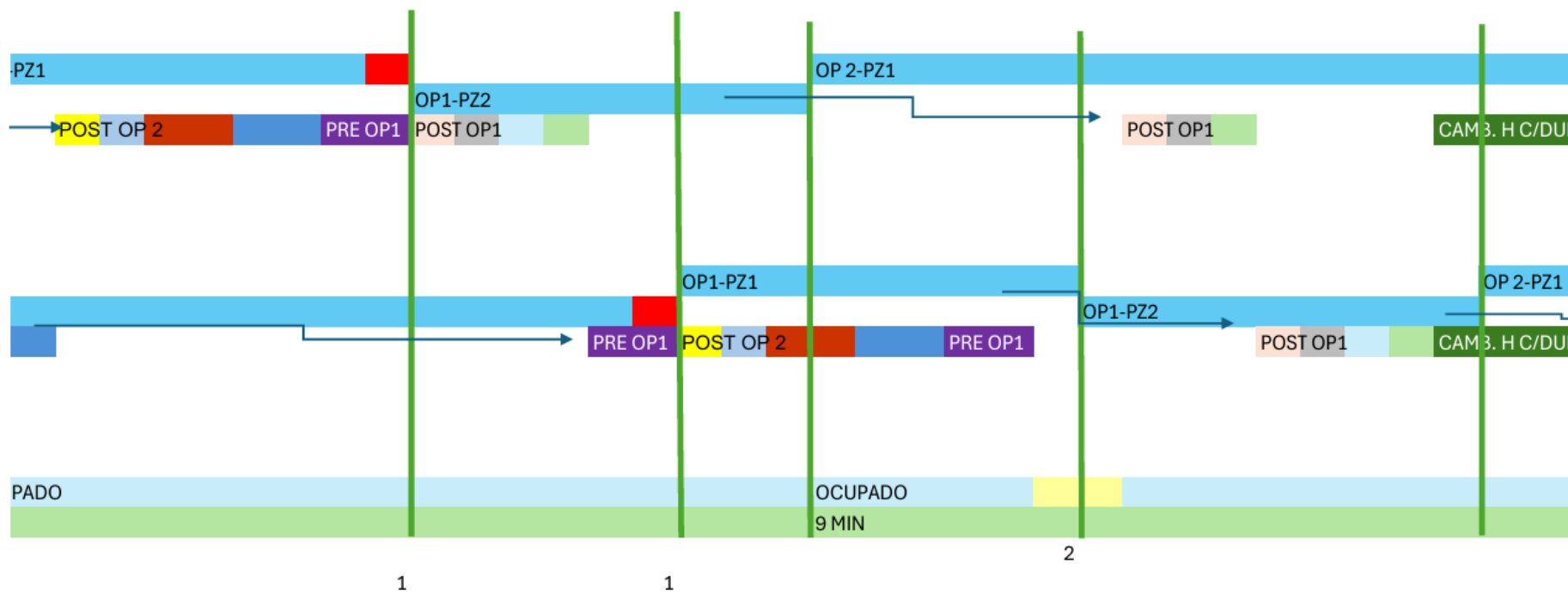
39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13



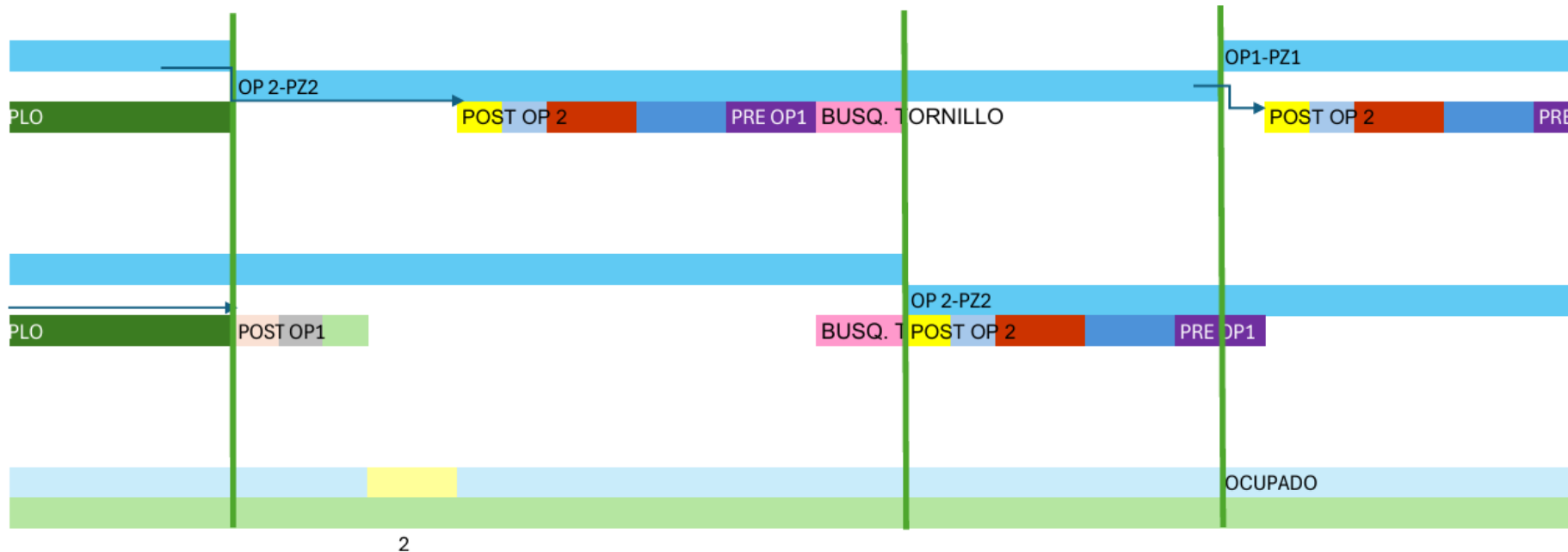
14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48



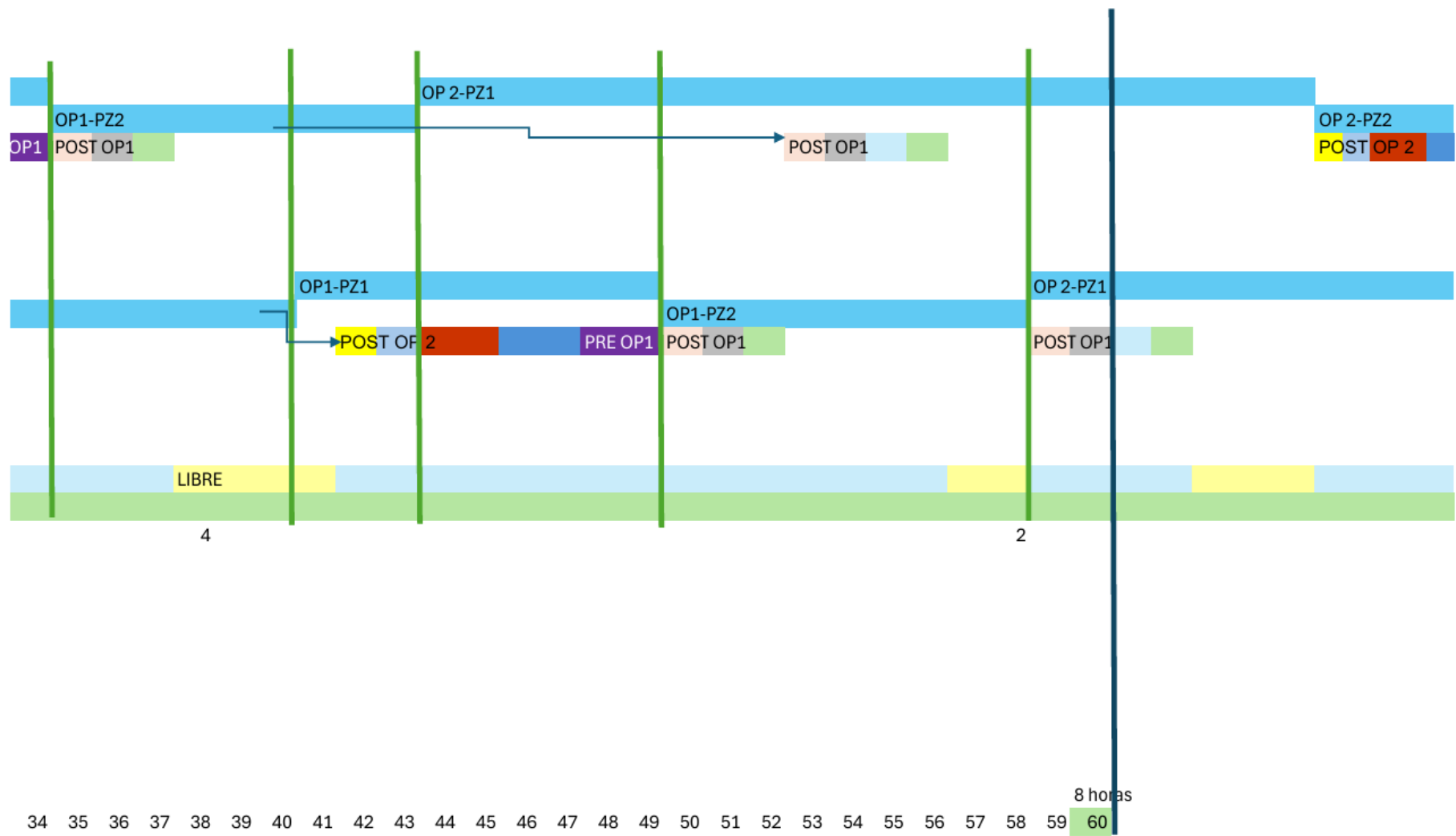
49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23



24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58



59 60 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33



REFERENCIAS/ BIBLIOGRAFIA

Kanawaty, G. (publicado con la dirección de) *Introducción al estudio del trabajo*. Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo, cuarta edición (revisada), 1996

Norman Gaither, Greg Fazier (1990). *Administración de producción y operaciones*

¿Qué es y como funciona un centro de mecanizado CNC?:

<https://www.vurcon.com/blogs/noticias/que-es-y-como-functiona-un-centro-mecanizado-cnc>

Mazak. *Centros de Mecanizado CNC horizontales*

Avila, M. M. (2020). *Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión*. Bolivia: UPSA.

Chain, N. y. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Colombia: McGraw Hill Interamericana.