



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE TUCUMÁN



**Universidad Nacional de Tucumán**

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología

Carrera de Ingeniería Industrial

**Propuesta de mejora en los procesos de almacenamiento de producto terminado en  
una empresa de artículos de higiene y cuidado personal**

Giuliano Alessandro Dall'Agata

Proyecto de Graduación

Ing. Pablo Mauricio Jeger

San Miguel de Tucumán - 2026

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>3</b>
1.1. La empresa.....	3
1.2. Resumen.....	3
<b>2. Desarrollo.....</b>	<b>4</b>
2.1. Estudio de métodos.....	4
2.1.1. Recepción de producto terminado.....	4
2.1.2. Armado de pedidos.....	7
2.1.2.1. Pedidos con picking.....	7
2.1.2.2. Pedidos con pallets cerrados.....	10
2.1.3. Envoltura.....	11
2.1.4. Despacho.....	12
2.2. Diagnóstico del problema.....	13
2.3. Estudio de tiempos.....	14
2.3.1. Recepción de producto terminado.....	14
2.3.2. Armado de pedidos.....	16
2.3.2.1. Pedidos con picking.....	16
2.3.2.2. Pedidos con pallets cerrados.....	20
2.3.3. Envoltura y encintado.....	22
2.3.4. Despacho.....	23
2.5 Determinación de ratings y tiempos normalizados.....	24
2.6 Determinación de suplementos y tiempos estándar.....	25
2.6.1 Criterio general.....	25
2.6.2 Suplementos específicos por tipo de actividad.....	26
2.7 Indicador de ocupación.....	26
<b>3. Modelado y simulación.....</b>	<b>26</b>
3.1. Optimización de la disposición de productos en el área de picking mediante recocido simulado.....	27
3.1.1. Representación del sistema y decisión a optimizar.....	27
3.1.2. Metodología de optimización.....	27
3.1.3. Función de evaluación del desempeño.....	28
3.1.4. Supuestos, alcance y limitaciones.....	28
3.1.5. Evaluación de políticas de flujo operativo.....	29
3.1.6. Resultados del modelo de optimización.....	29
3.2. Modelado del tiempo de armado de pedidos.....	29
3.3. Generación de distribuciones de tiempo de armado de pedidos.....	31
3.4. Simulación de armado y despacho de pedidos.....	33
3.4.1. Estado del sistema.....	34
3.4.2. Uso del modelo para la evaluación de escenarios.....	34
3.4.3. Generación de horas extra en el estado actual.....	35
3.4.4. Comparación entre armado y despacho.....	36
3.4.5. Costo anual asociado a horas extra.....	37
<b>4. Propuesta de mejora.....</b>	<b>37</b>
4.1. Dotación del personal.....	37

4.1.1. Reorganización del flujo de pallets desde planta hasta depósito.....	38
4.1.2. Asignación fija de tareas de envoltura al operario de autoelevador.....	38
4.1.3. Definir una segunda zona de picking.....	39
4.1.4. Reducción de dotación en despacho mediante reasignación de tareas de control.....	41
4.1.X. Asignación de dotación durante el despacho.....	42
4.1.5. Layout del pasillo de picking.....	44
4.1.6. Esquema horario.....	45
4.1.7. Mejora del uso de la envolvedora.....	48
4.1.8. Capacitar en envoltura de pallets al final de línea de producción.....	48
4.2. Resultados.....	49
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>50</b>
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>50</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>51</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>51</b>
Anexo A: Técnicas de apilado observadas.....	51
Anexo X: Tiempos observados.....	52
X.1 Objetivo del anexo.....	52
X.2 Registro de tiempos observados.....	52
Anexo B: Descripción detallada del modelo de simulación del armado de camiones.....	53
B.1. Descripción del procedimiento.....	53
B.2. Archivos utilizados.....	53
A.3. Parámetros del modelo.....	54
A.4. Definición matemática del tiempo de armado.....	55
A.5. Ejemplo numérico ilustrativo.....	55
Anexo C: Descripción detallada del modelo de simulación de armado y despacho.....	55
C.1 Estructura general del modelo.....	55
C.2 Esquema del modelo.....	55
C.3 Parámetros del modelo.....	55
B.4 Cálculo del tiempo diario y horas extra.....	57
B.5 Ejemplo ilustrativo de una jornada simulada.....	57
B.6 Consideraciones sobre calibración y alcance.....	57
Anexo: Propuesta de armado de picking con 2 zorras.....	57
Anexo: Optimización de la disposición de productos en el área de picking mediante recocido simulado.....	57
Anexo: Calcular modelo de griba.....	58

## **1. Introducción**

### **1.1. La empresa**

Establecimiento La Mariposa S.A. es una empresa familiar tucumana dedicada a la producción y comercialización de artículos de higiene, limpieza y cuidado personal. La compañía se encuentra radicada en la ciudad de San Miguel de Tucumán, provincia de Tucumán, Argentina, donde concentra sus operaciones productivas y logísticas en su planta ubicada en calle Rivadavia 1651. Desde dicha ubicación se abastece tanto al mercado local como a clientes y distribuidores de distintas regiones del país.

La empresa cuenta con presencia en grandes cadenas de supermercados, así como en distribuidores mayoristas y comercios minoristas, lo que genera una demanda sostenida y diversa, caracterizada por ventas de distinta composición, frecuencia y nivel de urgencia que impacta directamente en la dinámica de armado y despacho de pedidos.

El depósito de producto terminado funciona como conector entre la planta y la distribución. En este sector se realizan las tareas de recepción desde producción, almacenamiento, armado de pedidos, acondicionamiento de la carga y despacho de camiones. El desempeño de este sector resulta clave para el cumplimiento de los plazos de entrega y para evitar demoras que afecten al resto del sistema.

La dotación del depósito está conformada por cinco operarios, cuya asignación de tareas es flexible y varía según las necesidades. Los operarios rotan entre actividades como control, manejo de autoelevador, uso de zorra eléctrica, envoltura de pallets y apilado en el área de picking. El jefe de depósito, sexto integrante del sector, cumple funciones de supervisión y realiza tareas administrativas asociadas a la gestión de despachos.

### **1.2. Resumen**

## **2. Desarrollo**

### **2.1. Estudio de métodos**

Para este estudio se relevaron las principales operaciones del depósito, incluyendo la recepción de pallets desde la planta de producción, el almacenamiento en racks selectivos de tres niveles o en piso, el armado de pedidos de clientes, la envoltura y encintado de pallets, el almacenamiento temporal en zonas de espera y despacho.

#### **2.1.1. Recepción de producto terminado**

Previo al traslado de mercadería al depósito, se realiza el control de los remitos, que constituye una de las primeras actividades de la jornada. El operario encargado retira el remito de transferencia del laboratorio de calidad, el cual detalla la cantidad de pallets que deben ser trasladados desde la planta de producción al depósito, con su código, fecha de producción, número de pallet, turno, entre otros, y se dirige al final de la línea de producción, donde se los almacena temporalmente. Una vez allí, el operario controla las etiquetas de los pallets con la información del remito.

Los pallets salen de la planta de producción montados sobre una tarima de madera de dimensiones aproximadas de 1,00 m x 1,20 m. Sobre esta base se apilan las cajas de producto siguiendo una configuración definida en planta, buscando aprovechar el espacio disponible y asegurar la estabilidad del conjunto. Estos son envueltos de manera parcial mediante una máquina envolvente (conocida en planta como *stretchadora*) al final de la línea, permitiendo los traslados internos, aunque no siempre constituye una envoltura definitiva para su despacho.

El traslado de los pallets desde la planta de producción hasta el depósito se realiza mediante autoelevador. El recorrido comprende el movimiento desde el final de línea hasta la salida de la empresa ubicada sobre la calle Ecuador, ubicada frente al acceso del depósito y separada únicamente por la calle. Esta disposición condiciona la dinámica de circulación del autoelevador, tanto en esta operación como en otras actividades del depósito.

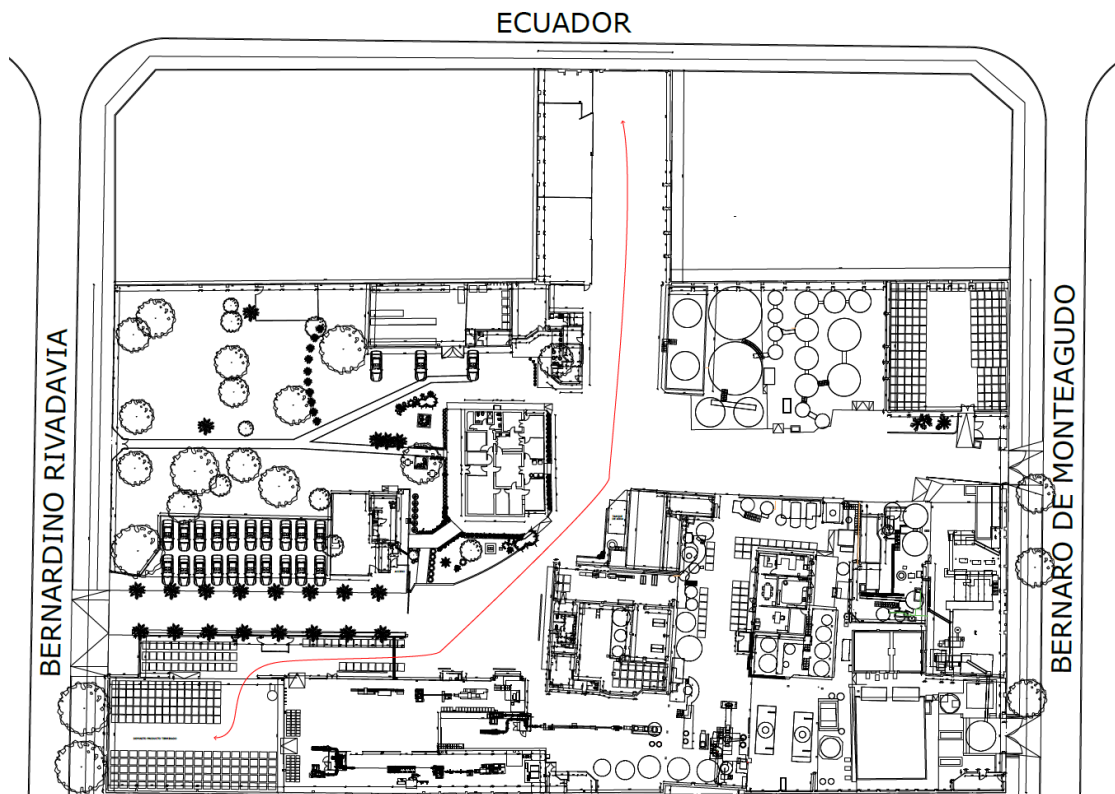


Figura 1. Recorte del plano de planta y recorrido del autoelevador desde dicho sector hasta la salida ubicada sobre la calle Ecuador.

Fuente: Elaboración propia a partir del plano general de la empresa (2026).

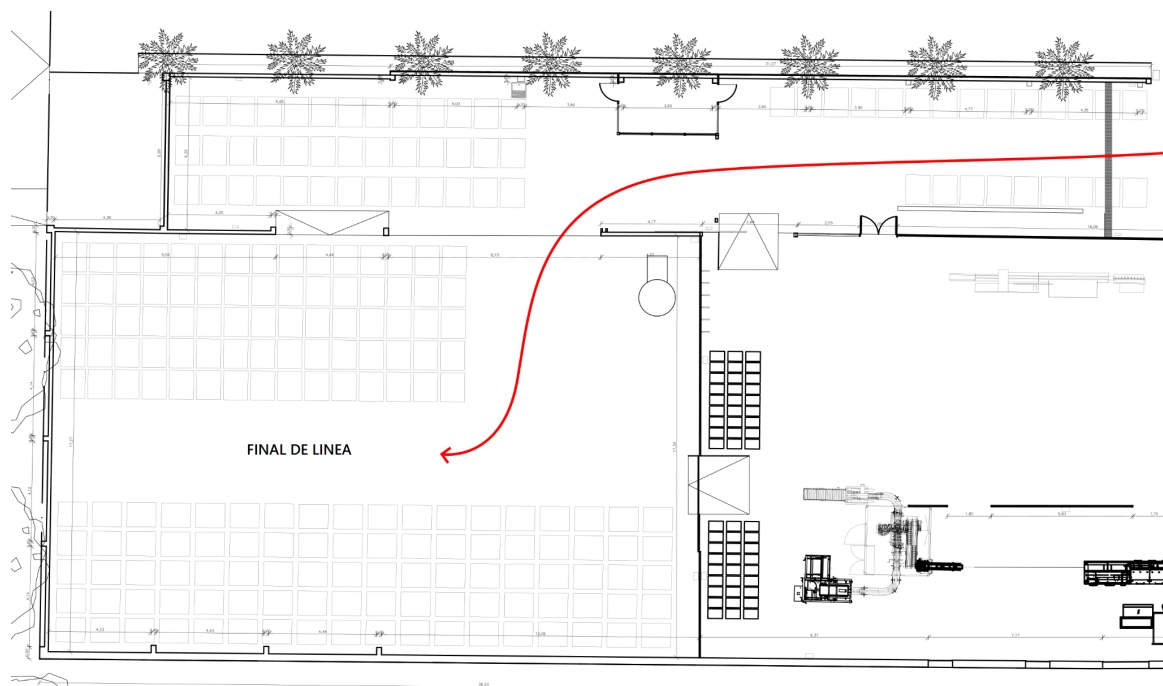


Figura X. Vista del sector de final de línea de producción y recorrido del autoelevador desde dicho sector hasta la salida de la nave.

Fuente: Elaboración propia a partir del plano general de la empresa (2026).



Figura X. Sector de salida de la empresa sobre la calle Ecuador, con recorrido del autoelevador y de la zona de espera de pallets.

Fuente: Elaboración propia a partir del plano general de la empresa (2026).

Con frecuencia se observa la acumulación de pallets en la salida de la planta sin ser ingresados de forma inmediata al depósito, formando colas que pueden alcanzar hasta veinte pallets. Una vez que se decide efectuar el ingreso, los pallets son almacenados sin un criterio uniforme de ubicación. Aquellos pallets cuya envoltura presenta deficiencias o es parcial deben ser reenvueltos previamente en la envolvedora antes de su almacenamiento definitivo porque no es requisito que la envoltura esté en condiciones óptimas para el ingreso.

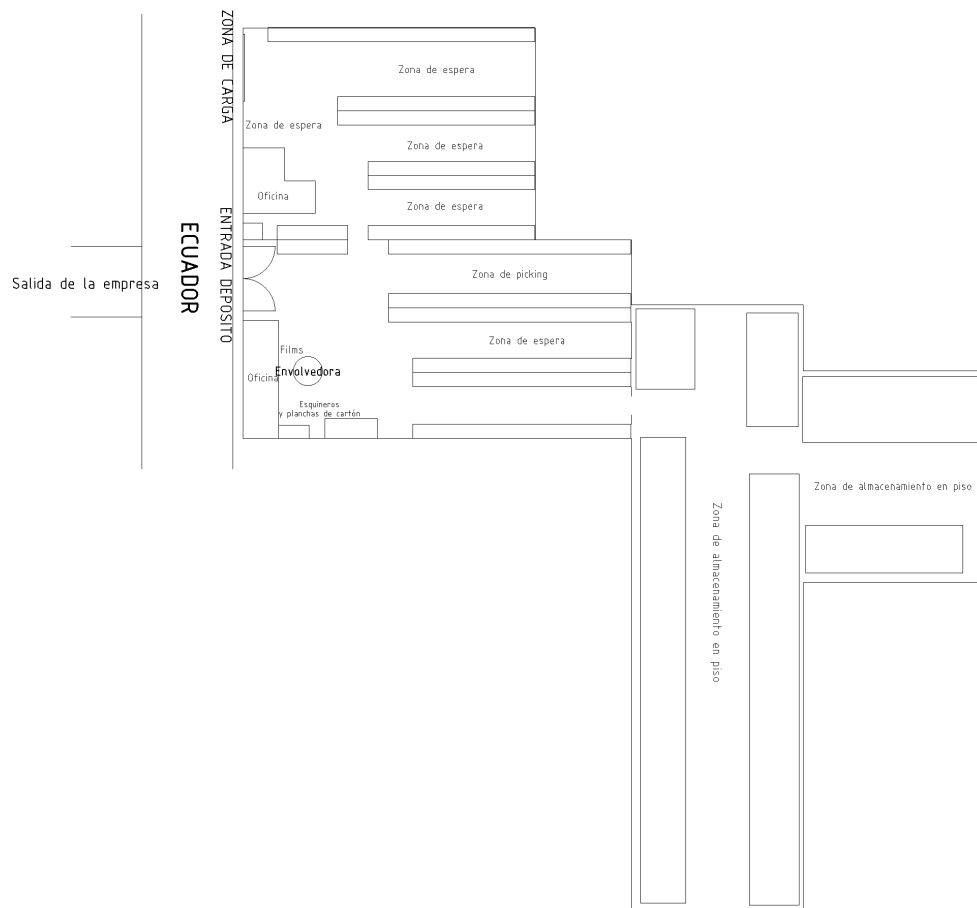


Figura X. Vista general del depósito de producto terminado y sectores adyacentes, con identificación de la entrada al depósito y de la salida de la empresa sobre la calle Ecuador.

Fuente: Elaboración propia (2026).

### 2.1.2. Armado de pedidos

Es frecuente que un mismo pedido incluya una combinación de pallets completos o cerrados, y pallets armados a partir del apilado de cajas en el pasillo de picking.

#### 2.1.2.1. Pedidos con picking

El proceso de armado de pedidos inicia con una etapa de planificación previa. En esta instancia, el jefe del depósito imprime y entrega a los operarios la orden de carga correspondiente al pedido que debe prepararse. A partir de la información contenida en dicho documento, los operarios calculan la cantidad de pallets a armar y el orden en que serán preparados. Esta actividad se realiza de forma manual y se apoya en la experiencia del personal, quien estima la secuencia de armado en función del tipo y volumen de productos solicitados.



Definida la planificación, los tres operarios asignados para picking preparan la base de armado utilizando una tarima de madera montada sobre la zorra eléctrica, la cual funciona como soporte móvil durante el proceso. El armado de pedidos se realiza dentro de un área de picking definida, constituida por un pasillo ciego con racks dispuestos a ambos laterales.



Figura X. Vista del pasillo de picking.

Fuente: Elaboración propia (2026).

A partir de este punto, los operarios extraen cajas de los pallets ubicados en los racks y las apilan sobre la tarima, desplazándose con la zorra a lo largo del pasillo según la secuencia definida en la orden de carga. Esta operación se repite hasta completar la configuración pedida por el cliente, la cual puede requerir armar más de un pallet.

Durante todo el picking, el control del avance del pedido se realiza de manera manual y simultánea mediante una tablet y una planilla. En la tablet los operarios registran la asignación de productos en el sistema de gestión utilizado por la empresa (GRIBA), mientras que en la planilla consignan los pallets que van siendo armados y marcan los ítems ya apilados.

Este proceso no se realiza de manera improvisada, sino que obedece una serie de criterios definidos por la experiencia de los operarios. Dado que las cajas presentan distintas dimensiones físicas y características de resistencia, se prioriza la conformación de una base estable utilizando productos de mayor rigidez, como los jabones sólidos. Los productos más livianos o frágiles suelen ubicarse en las capas superiores del pallet para evitar deformaciones durante el armado y el transporte. Asimismo, se procura agrupar cajas de dimensiones similares en bloques consecutivos, evitando la alternancia entre formatos distintos, a fin de mantener la estabilidad y regularidad del pallet nuevo.

Cuando el stock de un producto se agota dentro del pasillo de picking, el armado se ve interrumpido para realizar una reposición. Esta la lleva a cabo uno de los operarios, que se traslada con el autoelevador hasta otra zona del depósito, desde donde retira un nuevo pallet de stock y lo posiciona en el piso del pasillo, para luego abrir su film y extraer cajas. Finalizada la reposición, se retoma el armado del pedido en curso.

#### **IMAGEN DEL ORIGEN DE LOS PALLETS DE REPOSICIÓN Y SU TRASLADO AL PASILLO DE picking**

Se observaron distintas modalidades en el picking, que varían en función de la cantidad de operarios involucrados y de la forma en que se distribuyen las tareas. En algunos casos, dos operarios extraen cajas mientras un tercero se encarga de ordenarlas sobre el pallet en armado; en otros, las tareas de extracción, recepción y acomodado se realizan de manera secuencial.

A medida que aumenta la variedad de productos incluidos en un pedido, se incrementan los desplazamientos con la zorra eléctrica y las instancias de verificación de la orden de carga, lo que introduce mayor complejidad en el proceso de armado. Finalizado el armado, el pallet nuevo es trasladado a la zona de envoltura, donde es etiquetado y montado con autoelevador en la envolvente para ser envuelto y posteriormente ser trasladado a la zona de espera.

Concluido el etiquetado, el operario retorna al área de picking con la zorra sin carga para continuar con el armado del pedido o iniciar una nueva operación.

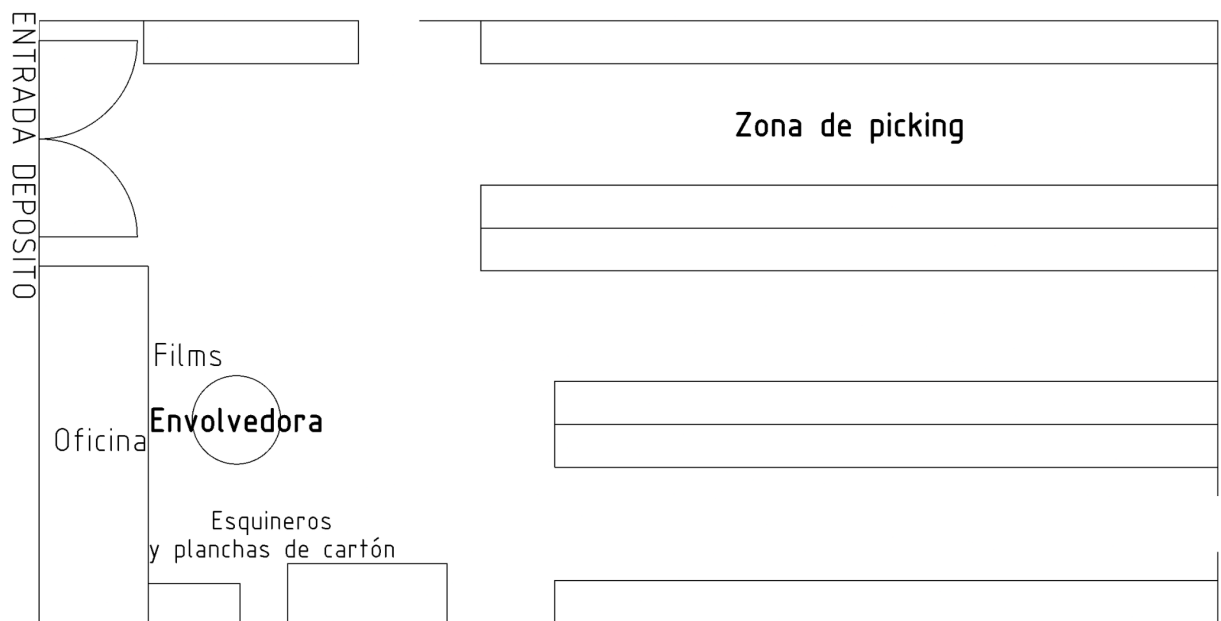


Figura X. Vista de la zona de picking y envolvedora.

Fuente: Elaboración propia (2026).

En la realidad, la reposición de tarimas no se presenta como una actividad regular.

Con frecuencia, los operarios reutilizan pallets parcialmente armados como base para nuevos pedidos, agregando o retirando cajas según lo requerido por el pedido. Esta práctica, basada en la experiencia del personal, reduce tiempos de armado, pero introduce una elevada variabilidad tanto en la frecuencia como en la duración de la reposición de tarimas.

#### 2.1.2.2. Pedidos con pallets cerrados

El armado de pedidos que se componen exclusivamente de pallets completos se realiza de manera distinta respecto del picking. Para esta operación se asigna un único operario, quien utiliza el autoelevador para localizar y trasladar los pallets solicitados por el cliente.

El operario se desplaza por el depósito identificando los pallets requeridos y los retira de sus ubicaciones de almacenamiento, procurando seguir un criterio de rotación FIFO, aunque este no siempre se cumple de manera estricta. En la práctica, la mayor parte de los pallets utilizados para el armado de pedidos con pallets completos se obtiene desde la zona de mercadería en piso, desde donde se realiza el levante y traslado hacia la zona de espera

o a la zona de envoltura . Una vez localizado el pallet, lo levanta y lo traslada hacia la zona de envoltura, donde otro operario lo encinta y luego se lo traslada a la zona de espera.

Este mismo operario suele desempeñar, de forma simultánea, otras tareas que no se encuentran exclusivamente asociadas al armado de pedidos con pallets cerrados. Entre ellas se incluyen el montaje de pallets provenientes del área de picking en la envolledora para su envoltura, operación que en algunos casos requiere que el operario descienda del autoelevador para accionar la máquina, así como la recepción de mercadería que aguarda en la salida de la empresa. La concurrencia de estas actividades puede introducir demoras en la ejecución del armado de pedidos de pallets completos.

**AGREGAR IMAGEN ZON ADE ESPERA**

### **2.1.3. Envoltura**

El objetivo de la envoltura es asegurar la estabilidad de la carga durante el almacenamiento y el transporte, mediante la aplicación de film plástico y encintado.

Esta operación se realiza de forma regular al finalizar el armado de pallets por picking y, adicionalmente, se ejecuta como actividad correctiva cuando se detectan pallets provenientes de planta con envoltura deficiente o cuando se producen eventos tales como el colapso de tarimas bajo carga, que requieren el rearmado completo del pallet. La envoltura se lleva a cabo en una zona específica del depósito equipada con una envolledora.

No existe un operario asignado de manera exclusiva a esta tarea. En función de la disponibilidad de personal, la envoltura puede ser realizada por un operario dedicado o por el propio operario del autoelevador, quien traslada y envuelve el pallet.

Durante el período de relevamiento se observó que esta asignación variable se manifiesta de forma distinta según la franja horaria. En particular, durante la mañana, aproximadamente desde el inicio de la jornada hasta las 11:00-12:00, la envoltura es realizada casi exclusivamente por el operario que maneja el autoelevador y arma pedidos sin picking. En la franja vespertina, el operario que durante la mañana se dedica a la recepción de mercadería desde planta brinda apoyo parcial en la envoltura, sin relevarlo completamente.

La envolvedora permite operar en modo automático o manual. En la práctica, se observaron distintas formas de uso de la misma, incluyendo ciclos automáticos, manuales y casos en los que se realiza más de una pasada de envoltura. No obstante, el modo automático es el predominante, debido que el modo manual es únicamente utilizado cuando la altura de los pallets no es correctamente detectada por los sensores de la máquina. El operario fija el film al pallet, acciona el ciclo de envoltura y finaliza el proceso separando el film una vez concluido.

Aun cuando la envolvedora opera en modo automático, se observó que el operario debe permanecer próximo a la máquina durante el ciclo para verificar que la tensión de envoltura sea adecuada, con el fin de evitar pallets sub tensados, que son inestables durante el traslado, o la rotura del film por exceso de tensión durante el giro, obligando a reiniciar la máquina.

El encintado se realiza una vez finalizada la envoltura del pallet. La tarea se inicia cuando el operario, con la encintadora en mano, coloca cuatro carriles de cinta en la parte superior del pallet. Durante las observaciones se registró que, en algunos casos, el encintado se realiza durante el giro de la máquina de envoltura, pero esto depende en gran medida de la experiencia y habilidad del operario.

Durante el relevamiento se observó que el X% de los pallets provenientes del final de línea requiere ser reenvuelta en el depósito, debido a deficiencias en la envoltura original o a criterios de envoltura no uniformes según el producto.

#### **2.1.4. Despacho**

El despacho constituye la etapa final del circuito del depósito, en la cual los pallets armados son cargados en los camiones. Los camiones no se asocian necesariamente a un único pedido, sino que se conforman a partir de la consolidación de uno o varios pedidos previamente armados.

Este proceso se realiza mayormente por la zona de despacho del depósito, debido a que la salida alternativa presenta mayores dificultades de maniobra para los autoelevadores y para los camiones.

[COLOCAR IMAGEN DE LA SALIDA PRINCIPAL DEL DEPÓSITO Y ZONA DE CARGA]

El procedimiento de carga inicia una vez que el camión se encuentra detenido sobre la vereda, con sus puertas abiertas, generalmente las laterales. Para efectuar la carga, un operario utiliza el autoelevador para elevar la zorra eléctrica con un segundo operario posicionado sobre ella, quien se encarga de acomodar los pallets en el interior del camión.

A medida que el camión se completa y el espacio disponible se reduce, se procede a retirar la zorra eléctrica junto con su operario. Para las últimas posiciones de carga, los pallets son ubicados mediante empuje utilizando el autoelevador, empleando otro pallet como elemento auxiliar. Durante toda la operación de carga, un tercer operario cumple funciones de control y supervisión, registrando la mercadería cargada mediante el uso de una tablet y una planilla manual.

Finalizada la carga física del camión, los operarios deben esperar recibir el remito de facturación por parte del área administrativa. Dicho documento es verificado contra la mercadería efectivamente cargada y, una vez validado, es entregado firmado al transportista, completando así el proceso de despacho.

El depósito cuenta con dos zorras eléctricas, las cuales no se encuentran asignadas de manera fija a una operación específica. Ambas se utilizan de forma indistinta tanto para el armado de pedidos con picking como para el despacho de camiones, alternándose en función de su disponibilidad.

## **2.2. Diagnóstico del problema**

El proceso de armado y despacho de pedidos en el depósito de producto terminado presenta una recurrencia significativa de horas extra. A partir de un análisis preliminar y de entrevistas realizadas al personal del área, se identificó que esto no se debe a una única causa, sino a la combinación de distintos factores externos e internos.

Por un lado, la programación de despachos suele concentrar un elevado volumen de pedidos en determinadas jornadas, generando picos de actividad difíciles de absorber dentro del horario habitual. A esto se suma la llegada tardía de camiones por parte de transportistas

tercerizados, condicionados por recorridos previos correspondientes a otros clientes, así como la aparición ocasional de pedidos urgentes que deben ser atendidos con prioridad. Estos factores externos introducen una variabilidad significativa en la demanda diaria del depósito.

Por otro lado, en las operaciones de armado, envoltura y carga se observa una elevada variabilidad en la forma de ejecución, en donde los operarios resuelven las tareas mediante métodos distintos y sin un estándar definido. Esta situación dificulta la repetibilidad de los tiempos y la estimación de rendimientos confiables. Asimismo, se identificaron diversas ineficiencias internas vinculadas al armado y despacho de pedidos, tales como tiempos muertos asociados a la búsqueda de pallets, retrabajos derivados de envolturas deficientes, limitaciones de espacio, esperas en la zona de envoltura y reacomodos durante la carga, las cuales amplifican los efectos de dicha variabilidad sobre el desempeño del depósito.

Este diagnóstico justifica la necesidad de abordar el problema con un estudio de métodos y tiempos, el uso de herramientas de investigación que permitan analizar la variabilidad en la llegada de camiones y la concentración de pedidos, y la evaluación de alternativas organizativas que reduzcan la necesidad de generar horas extra.

### **2.3. Estudio de tiempos**

Para el estudio se realizó cronometraje simple con celular, el cual se pausó ante tiempos muertos u ociosos y se reanudó con la continuación de la tarea, centrando el análisis en las operaciones más relevantes y frecuentemente repetidas del proceso. Al no existir un método estandarizado para su ejecución, se identificaron variantes de realización dentro de estas operaciones, motivo por el cual no se efectuó una descomposición a nivel de micromovimientos. El número de mediciones realizadas por operación se determinó según la estabilidad observada en los resultados. Se continuó el muestreo hasta que la incorporación de nuevas observaciones no produjo cambios relevantes en el valor promedio.

Para las tareas de baja duración y bajo impacto sobre los procesos, la cantidad de muestreos fue proporcional a este impacto. Algunas tareas, además de aportar tiempos de

magnitud reducida, se ejecutan de manera esporádica, lo que dificulta su observación, por lo que no se consideró necesario realizar la misma cantidad de muestreos que en las operaciones dominantes.

### **2.3.1. Recepción de producto terminado**

Para el muestreo de tiempos de la operación de recepción de producto terminado, el proceso fue descompuesto en dos ciclos. El primero comprendió el intervalo desde el momento en que el autoelevador levanta un pallet en el final de línea de la fábrica hasta su traslado y descenso en la salida de la empresa sobre la calle Ecuador. El segundo ciclo consideró el recorrido inverso, abarcando desde el retorno del vehículo vacío al final de línea hasta la toma, enganche y elevación de un nuevo pallet.

Adicionalmente, como en la práctica los pallets suelen acumularse en la salida de la empresa sobre la calle Ecuador antes de ser ingresados al depósito, se relevaron también los tiempos correspondientes al traslado desde dicha salida hacia el interior del depósito. En estos casos, el muestreo incluyó el intervalo desde la salida del autoelevador por la entrada del depósito, el cruce de la calle, el ingreso por la salida de la empresa, la toma del pallet y su traslado hasta la zona de envoltura del depósito. Este tramo es realizado por un operario distinto del que efectúa el traslado inicial desde la planta, por lo tanto, el cronometraje se inicia a partir de la salida del autoelevador desde el depósito.

Por su parte, la zona de envoltura fue adoptada como punto de referencia para las mediciones, debido a su ubicación aproximadamente central dentro del layout del depósito, lo que permitió homogeneizar los recorridos considerados.

#### **AGEGAR O MENCIONAR IMAGEN DE CRUCE DE CALLE (PLANO)**

A continuación se presentan los tiempos muestreados correspondientes a los ciclos:

Tabla 1. Tiempos promedio y estándar de los ciclos de la operación de recepción de producto terminado.

Ciclo	N° muestras	Tiempo promedio (s)	Tiempo estándar (s)
-------	-------------	---------------------	---------------------



Traslado de planta a salida	17	94,63	
Retorno a planta desde salida vacío	20	73,77	
Ingreso desde salida al depósito	14	65,95	

Por otro lado, se realizaron observaciones independientes de los pallets colocados en la salida para estimar el porcentaje de envolturas deficientes que producen retrabajos en el depósito.

Tabla x. Estimación del porcentaje de pallets con envoltura deficiente

N° muestras	Promedio de pallets mal envueltos
3	73,5%

Esta estimación puede estar sesgada y solo es usada para estimar el orden de magnitud de envolturas deficientes.

A partir de un registro de remitos de transferencia aprobados, se determinó que la tasa diaria promedio de pallets ingresados al depósito es de 44,42 pallets/día, de los cuales aproximadamente 33 requerirían re-envoltura.

## 2.3.2. Armado de pedidos

### 2.3.2.1. Pedidos con picking

El picking suele ser lo que más tiempo demanda de toda la operación, siendo el cuello de botella la mayor parte del tiempo. Para el armado con picking se relevaron ciclos principales (apilado, traslados, etiquetado) y actividades complementarias (control de planilla, reposición de pallet, planificación de armado).

Durante las observaciones de campo se identificaron distintas técnicas de apilado de cajas sobre pallet, las cuales difieren tanto entre los operarios como en la secuencia de colocación de las cajas. Asimismo, se constató que dichas técnicas no se presentan con la misma frecuencia a lo largo de la operación diaria.

La técnica de apilado clasificada como muy frecuente corresponde a un esquema de trabajo con tres operarios. Dos de ellos se ubican en el pallet de origen, desde donde extraen las cajas y, en algunos casos colocándolas y en otros dejándolas caer según la altura alcanzada, sobre el pallet en armado. Un tercer operario se posiciona en el lado opuesto del pallet en armado y se encarga de acomodar las cajas a medida que son colocadas, asegurando el correcto ordenamiento y la estabilidad del apilado.

Para ordenar el análisis, las técnicas observadas fueron clasificadas de manera cualitativa según su frecuencia de aparición, distinguiéndose entre técnicas muy frecuentes, frecuentes, ocasionales y raras. Para el estudio cuantitativo se utilizó como referencia la técnica clasificada como muy frecuente, por representar el modo de trabajo predominante durante la mayor parte del tiempo y las técnicas de menor frecuencia no fueron consideradas en el cálculo del tiempo estándar, dado que responden a situaciones particulares.

El tiempo de apilado se estimó a partir de múltiples mediciones completas, cronometrando el intervalo comprendido entre el inicio y la finalización del apilado del pallet. En cada medición se registró, además, la cantidad total de cajas apiladas y a partir de estos datos se calculó un tiempo unitario por caja, y el tiempo promedio de apilado se obtuvo como el promedio de los valores unitarios resultantes.

Durante el proceso de armado se identificó un intervalo temporal recurrente entre la finalización del apilado de cajas y el inicio del desplazamiento del pallet con la zorra eléctrica. En este lapso se concentran diversas actividades, tales como reacomodamientos, controles de planilla, ajustes sobre el pallet armado y la preparación para el traslado. Dado que estas acciones no se presentan de forma uniforme ni pueden asociarse de manera consistente a una única tarea específica, se las trató como una transición entre el apilado y

el zorro. Es por esto que, el tiempo correspondiente fue medido como el intervalo comprendido entre el momento en que finaliza el apilado del pallet y el inicio efectivo del desplazamiento con la zorra eléctrica.

El traslado del pallet terminado hacia la zona de envoltura se inicia cuando el operario comienza el desplazamiento con la zorra eléctrica desde el inicio del pasillo de picking. El tiempo finaliza una vez que el pallet es descendido en la zona de envoltura. El punto de inicio del recorrido es fijo, mientras que el punto final puede variar levemente, debido a que el pallet no siempre se deja exactamente en la misma posición dentro de dicha zona.

El etiquetado, previo a la envoltura, se inicia una vez que el operario que maneja la zorra deja el pallet en la zona de envoltura. A continuación, el mismo operario se desplaza hasta donde se encuentran las etiquetas y el marcador, y anota manualmente el nombre del cliente. Luego separa el adhesivo de la etiqueta manualmente, regresa al pallet y la pega sobre este.

Una vez que el operario deja el pallet armado en la zona de envoltura y completa el etiquetado, debe regresar con la zorra vacía al pasillo de picking para poder iniciar un nuevo pedido o continuar con el armado. Para la reincorporación a la zona de picking de la zorra, el tiempo correspondiente se midió desde que el operario toma la zorra para el retorno hasta que llega al inicio del pasillo de picking.

Tabla 2. Tiempos promedio y estándar de los ciclos de armado de pedidos con picking

Ciclo	N° muestras	Tiempo normalizado promedio (s)	Tiempo estándar (s)
Reposición de tarima	7		
Apilado de cajas (técnica)	13	1,85 (*)	2,14

muy frecuente)			
Apilado de cajas (técnica frecuente)			
Transición apilado-zorreo			
Etiquetado			
Reincorporación a la zona de picking			
TRASLADO A ENVOLTURA			

(\*) s/caja

En cuanto a las actividades complementarias, el control de planilla comprende el intervalo desde que el operario toma la planilla para revisar el estado del pedido hasta que finaliza dicha verificación y deja de interactuar con ella. Durante este tiempo se realizan chequeos visuales del avance del armado y se marcan ítems ya completados.

La asignación en tablet comprende el intervalo desde que el operario toma la tablet y en la interfaz de GRIBA y transfiere del stock al pedido en proceso las cajas apiladas.

La reposición de pallets no se presenta en todos los pedidos y su frecuencia depende del nivel de stock disponible en el pasillo de picking, por lo que no se incorporó como un tiempo fijo dentro del ciclo de armado.

El tiempo asociado a la reposición se midió desde que el operario abandona la zona de picking para dirigirse al autoelevador hasta que se reincorpora al armado del pedido tras dejar el pallet de reposición disponible, incluyendo el desplazamiento hasta la zona de mercadería en piso, la toma del pallet, traslado y descarga en el pasillo de picking. El tiempo

obtenido se utilizó posteriormente como insumo del modelo de optimización desarrollado en este trabajo para la obtención de un tiempo de reposición promedio por caja.

El desembalado se realiza cuando se incorpora un pallet de reposición al pasillo de picking. Estos pallets llegan envueltos en film, por lo que, previo a la extracción de cajas, el operario debe abrir la envoltura utilizando una trincheta. El tiempo de esta tarea se midió desde el momento en que el operario comienza a cortar el film hasta que inicia la extracción de cajas del pallet.

Tabla 3. Tiempos promedio y estándar de los ciclos complementarios de armado de pedidos con picking

Ciclo	N° muestras	Tiempo normalizado promedio (s)	Tiempo estándar (s)
Control de planilla	13	1,85	
Asignación en tablet			
Reposición de pallet			
Desembalado de pallet			

Por otra parte, la distancia recorrida durante el zorro del pallet armado varía en función de la ubicación del producto dentro del pasillo de picking. En consecuencia, no se estimó un tiempo promedio único para esta actividad. En su lugar, se realizaron múltiples mediciones de tiempo asociadas a recorridos de distinta longitud, utilizando referencias visuales del pasillo (inicio, fracciones intermedias y extremo) para estimar las distancias recorridas y a partir de cada observación se calculó la velocidad correspondiente.

Tabla 4. Velocidad promedio de desplazamiento con zorra eléctrica

Desplazamiento	Velocidad
----------------	-----------

de carga con zorra	promedio (m/min)
40	

La velocidad promedio obtenida se utilizó posteriormente como parámetro de entrada en el modelo de optimización por recocido simulado.

### 2.3.2.2. Pedidos con pallets cerrados

colocar imagen del galpon con mercaderia al piso la variacion es estructural

foto layout croquis y foto real

Para estimar los tiempos asociados al armado de pallets cerrados, el manejo con autoelevador se descompuso en dos tramos principales. El primero corresponde al recorrido desde la zona de envoltura hacia las áreas de mercadería almacenada en piso, incluyendo la búsqueda y localización del pallet, su toma y el traslado con carga de regreso hasta la zona de envoltura. El segundo tramo comprende el traslado del pallet desde la zona de envoltura hasta la zona de espera previa al despacho.

Se descompuso de esta manera para mantener coherencia con el armado de pedidos por picking, en el cual los pallets también pasan por la zona de envoltura antes de ser llevados a la zona de espera, con la diferencia de que estos sí son envueltos. De esta forma, el tramo desde la zona de envoltura hasta la zona de espera se considera común a ambos tipos de pallets.

La zona de espera no corresponde a un punto fijo dentro del depósito, sino que puede ubicarse en distintos sectores funcionalmente equivalentes, como los pasillos ciegos con racks o el sector próximo al portón de salida, ubicados en un mismo sector con distancias cercanas entre sí. La elección de la ubicación depende de la disponibilidad momentánea de espacio.

De manera similar, el recorrido desde la zona de envoltura hacia las áreas de mercadería en piso depende de la ubicación del stock dentro del depósito. Ambas

variaciones se consideraron estructurales, por lo que no se hizo un muestreo por ubicación específica y se calculó un tiempo promedio representativo.

El control de planilla asociado al armado de pallets es una tarea cognitiva e irregular, cuya frecuencia no se encuentra asociada a un ciclo fijo sino a la carga mental del operario y a su capacidad de memorización. Durante el relevamiento se observó que dicho control se realizaba cada uno, dos o tres pallets, sin una periodicidad estricta. Por esta razón, se optó por cronometrar cada evento de control y distribuir su tiempo promedio sobre la producción, adoptando una frecuencia media de un control cada dos pallets.

Tabla 5. Tiempos promedio y estándar de los ciclos de armado de pedidos con pallets cerrados

Ciclo	N° muestras	Tiempo normalizado promedio (s)	Tiempo estándar (s)
Traslado de pallet cerrado hacia zona de envoltura	13	1,85	...
Traslado de pallet desde zona de envoltura hacia zona de espera			
Control de planilla			
Retorno de zona de espera			
Planificación de armado			

### 2.3.3. Envoltura y encintado

El muestreo del proceso de envoltura se inicia con el montaje del pallet en la envolvedora. Este comienza cuando el operario de autoelevador levanta el pallet desde la zona de envoltura y finaliza una vez que lo posiciona sobre la máquina. De manera análoga, el desmontaje se realiza al finalizar la envoltura, levantando el pallet desde la envolvedora y retirándolo mediante una breve maniobra de retroceso. Como ambos movimientos presentan recorridos y maniobras similares, se los consideró aproximadamente iguales.

El ciclo de envoltura se descompuso en tres componentes: el enganche inicial del film, el giro de la máquina y la separación final del film. A partir de esta descomposición, la operación se modeló distinguiendo entre el tiempo propio de la máquina y las acciones manuales realizadas por el operario antes y después del giro.

En particular, se definió un elemento denominado preparación y terminación manual de la envoltura, que comprende desde el momento en que el operario toma el film, lo estira y lo engancha al pallet, hasta la finalización del proceso, una vez concluido el giro, cuando separa manualmente el film mediante el filo de la máquina y asegura el sobrante introduciéndolo debajo de las capas de film del pallet.

En función de lo observado, el tiempo de giro de la máquina se determinó considerando el modo automático y se trató como tiempo de máquina, no afectado por suplementos. Por otro lado, el tiempo correspondiente a la preparación y terminación manual de la envoltura se obtuvo como la suma del tiempo promedio normalizado de las acciones previas al giro y del tiempo promedio normalizado de las acciones posteriores al giro, aplicándose las suplementos exclusivamente sobre este tiempo manual del operario.

El tiempo de encintado se midió desde el inicio de la aplicación de la cinta hasta la finalización del último carril y se tomó como predominante el encintado realizado después de la envoltura.

Tabla 6. Tiempos promedio y estándar de los ciclos de envoltura y encintado

Ciclo	N° muestras	Tiempo	Tiempo estándar
-------	-------------	--------	-----------------



		promedio (s)	(s)
Montaje y desmontaje de envolvedora			
Preparación y terminación manual de la envoltura	5 c/u	21,8	
Giro de máquina			
Separación del film			

A partir del relevamiento, se estimó que las reenvolturas que son realizadas principalmente por el operario de autoelevador demandan, en promedio, aproximadamente 0,92 horas-hombre diarias.

#### 2.3.4. Despacho

Se cronometró el tiempo de despacho como una tasa de servicio global de un sistema de colas. No se realizó una descomposición del despacho en ciclos elementales.

La tasa de despacho se obtuvo midiendo el tiempo total transcurrido desde el inicio efectivo de la carga, definido como el momento en que el operario de autoelevador eleva y monta la zorra dentro del camión y se dirige a buscar el primer pallet, hasta la carga del último pallet del camión.

En dicha tasa existe cierta variabilidad debido a factores que no dependen de los métodos de trabajo. Entre ellos se incluyen la posición del camión respecto del depósito, que modifica las distancias y maniobras requeridas durante la carga; la existencia de distintas zonas de espera de pallets, cercanas entre sí pero que generan recorridos variables para el operario de autoelevador; y la dinámica interna del camión, donde los recorridos con zorra son mayores al inicio de la carga y se reducen progresivamente a medida que el camión se completa.

Tabla 7. Tasa de servicio promedio de despacho.

	N° muestras	Promedio (pallet/min)
Tasa de servicio	13	0,5635

La entrega de remito de facturación no fue incluida en el estudio de tiempos, dado que depende de factores externos al despacho, su efecto fue considerado posteriormente en el modelo de la simulación de armado y despacho de pedidos mediante una distribución de tiempos de espera. Del mismo modo, las maniobras particulares asociadas a la etapa final de carga, en las que se acomodan los últimos pallets mediante empuje con autoelevador, no se relevaron como ciclos independientes por no representar el comportamiento típico del proceso.

## 2.5 Determinación de ratings y tiempos normalizados

Los tiempos relevados durante el estudio corresponden a tiempos observados, obtenidos mediante cronometraje directo de las distintas tareas.

Para hacer comparables los resultados y evitar que diferencias individuales de ritmo afecten el análisis, se aplicó un factor de desempeño (rating) sobre los tiempos observados. Este factor ajusta el tiempo medido a un ritmo de trabajo considerado normal para la tarea.

A partir de este ajuste se obtuvieron los tiempos normalizados, que representan el tiempo requerido para ejecutar cada tarea a ritmo normal. Estos tiempos se promediaron y sobre ellos se aplicaron posteriormente los suplementos para obtener los tiempos estándar.

## 2.6 Determinación de suplementos y tiempos estándar

Los tiempos estándar se obtuvieron aplicando los suplementos definidos sobre los tiempos normalizados de cada tarea.

### 2.6.1 Criterio general

Para la determinación de los suplementos se utilizó la bibliografía clásica del estudio del trabajo, complementado con un análisis de las condiciones reales en las que se ejecutan las tareas relevadas.

En todas las operaciones se aplicaron suplementos fijos por descanso, correspondientes a necesidades personales y fatiga básica. Estos suplementos se definieron de manera uniforme para el conjunto de las actividades analizadas, con independencia del método particular de cada tarea, y se fundamentan en los criterios aceptados por la bibliografía especializada y en las recomendaciones generales de la Organización Internacional del Trabajo, que reconocen la necesidad de contemplar requerimientos fisiológicos mínimos para la ejecución sostenida del trabajo.

El relevamiento de tiempos se realizó sobre el método real de trabajo, incorporando las fluctuaciones normales propias del ciclo operativo, tales como ajustes posturales, coordinaciones breves y maniobras habituales. El cronometraje se interrumpió únicamente ante demoras claramente evitables y ajenas al método. Por lo tanto, no se adicionaron suplementos por demoras inevitables, a fin de evitar la duplicación de conceptos ya incorporados implícitamente en los tiempos observados.

Por último, si bien las condiciones ambientales del depósito presentan variaciones estacionales, particularmente asociadas a la carga térmica durante el período estival, se definieron los tiempos estándar como representativos de una condición anual típica de operación para mantener criterios homogéneos y comparables.

### **2.6.2 Suplementos específicos por tipo de actividad**

Adicionalmente, se aplicaron suplementos variables diferenciados según el tipo de actividad. Estos se definieron a partir de la observación directa del trabajo y del análisis de la exigencia sostenida que cada tarea impone al operario a lo largo del tiempo.

El criterio adoptado priorizó la carga física y postural mantenida, así como el nivel de repetitividad y coordinación requeridos, por sobre la dificultad puntual de eventos aislados.

Los valores asignados se mantuvieron dentro de rangos coherentes con la práctica industrial reportada en la bibliografía de referencia y se ajustaron a las condiciones reales del proceso analizado. El detalle de los suplementos aplicados a cada operación se presenta en el Anexo X.

## **2.7 Indicador de ocupación**

Para contar con una referencia general sobre la capacidad del depósito, se realizó una estimación de la ocupación máxima admisible en términos de posiciones disponibles.

Para ello se relevaron las ubicaciones existentes en racks, los espacios destinados a mercadería en piso y las zonas de espera, contabilizando la cantidad total de pallets que pueden almacenarse de manera simultánea bajo condiciones normales de operación.

A partir de este relevamiento se obtuvo un valor del orden de 1500 pallets, el cual resulta consistente con la experiencia del personal del depósito. En entrevistas realizadas, el jefe del área indicó que si bien en situaciones excepcionales se alcanzaron valores superiores, del orden de 1800 pallets, operar a ese nivel genera congestión y dificulta en gran escala el desarrollo normal de las actividades.

## **3. Modelado y simulación**

Los modelos de simulación y los cálculos asociados fueron realizados en el software Scilab. En todos los casos, los modelos se construyeron a partir de los tiempos observados promedio y distribuciones obtenidas del relevamiento de métodos y tiempos, y de registros históricos.

### **3.1. Optimización de la disposición de productos en el área de picking mediante recocido simulado**

A partir del estudio de métodos y tiempos se identificó que una parte significativa del tiempo de picking está asociada a los desplazamientos dentro del pasillo y a las reposiciones desde reserva cuando se agota el stock disponible. La disposición actual de los productos en el área de picking responde principalmente a criterios prácticos basados en la experiencia del personal, sin una optimización orientada a reducir estos tiempos.

Para evaluar alternativas de disposición de productos que permitan reducir recorridos y reposiciones, se desarrolló un modelo de optimización basado en la técnica de recocido simulado. En esta sección, el término *layout* se utiliza para referirse exclusivamente a la ubicación de los productos dentro del área de picking, manteniéndose inalterada la estructura física del depósito.

Si bien los métodos clásicos de clasificación, como el análisis ABC, resultan útiles para priorizar productos según su importancia individual, su aplicación directa al diseño del layout presenta limitaciones. En particular, no considera la interacción entre productos que aparecen conjuntamente en los pedidos ni las restricciones operativas asociadas al picking.

La técnica propuesta aborda estas limitaciones al evaluar de manera conjunta estos factores dentro de una única función de desempeño, permitiendo comparar distintas disposiciones de productos bajo supuestos homogéneos.

### **3.1.1. Representación del sistema y decisión a optimizar**

El modelo representa el área de picking como un conjunto de posiciones físicas discretas, a las cuales pueden asignarse distintos productos, identificados por su código. El número de posiciones disponibles es fijo y representa la capacidad de los racks a la altura del piso, mientras que el conjunto de productos comercializados es mayor.

La decisión central del modelo consiste en determinar qué códigos se ubican en el área de picking y en qué posiciones, y cuáles dejar en la reserva. Asimismo, se permite que un mismo producto ocupe más de una posición, siempre que existan espacios disponibles.

### **3.1.2. Metodología de optimización**

El recocido simulado es una técnica de optimización que permite explorar un gran número de configuraciones posibles sin evaluar exhaustivamente todas ellas. El algoritmo parte de una disposición inicial de productos, para la cual se utilizó la actual del pasillo, y genera modificaciones graduales, evaluando en cada caso si la nueva disposición mejora o empeora el desempeño del sistema.

Cada iteración del algoritmo genera una nueva disposición completa de productos a partir de la actual, mediante intercambios de posiciones o el reemplazo de productos presentes en el pasillo por productos de la reserva.

### **3.1.3. Función de evaluación del desempeño**

La calidad de cada disposición se evalúa mediante una función que combina distintos aspectos relevantes del proceso. En primer lugar, se busca reducir los desplazamientos durante el picking, favoreciendo la cercanía entre productos que aparecen frecuentemente

juntos en los pedidos y priorizando la ubicación de productos de mayor demanda en posiciones cercanas al inicio del recorrido.

Asimismo, se incorporan penalizaciones asociadas a cambios frecuentes de formato y a ciertas restricciones operativas vinculadas al armado de pallets, que se definieron a partir de los criterios observados en el estudio de métodos, tales como la conveniencia de agrupar productos de dimensiones similares y evitar alternancias que comprometan la estabilidad del pallet y colocar los productos frágiles en la cima del pallet.

Un componente importante de la evaluación son las reposiciones desde reserva, donde para cada producto excluido del área de picking, se estima la cantidad de viajes necesarios en función de la demanda histórica y de la cantidad de cajas de los pallets, utilizando para cada viaje el tiempo promedio de reposición obtenido en el estudio de tiempos.

De este modo, el modelo evita soluciones que reducen los desplazamientos en picking pero incrementan de manera significativa la cantidad de reposiciones.

#### **3.1.4. Supuestos, alcance y limitaciones**

El recorrido dentro del pasillo se aproxima mediante distancia entre productos y se asume que el picking se realiza siguiendo el orden físico de las posiciones, sin optimizar rutas individuales por pedido. Las reposiciones se consideran de manera agregada, sin modelar la secuencia temporal exacta de los pedidos, y los tiempos utilizados corresponden a valores promedio representativos.

El modelo no busca reproducir el armado con exactitud ni simular decisiones humanas adaptativas, sino permitir comparar distintas disposiciones de productos y evaluar mejoras relativas en el desempeño del depósito.

#### **3.1.5. Evaluación de políticas de flujo operativo**

Una vez definida una disposición de productos representativa, se evaluó el impacto de distintas formas de recorrer el pasillo durante el picking. En particular, se compararon dos alternativas operativas: iniciar el armado desde el frente del pasillo, como se realiza actualmente, e iniciar el armado desde el fondo.

Para esto, se mantuvieron constantes la disposición de productos, los datos de demanda histórica, los parámetros del modelo y los criterios de evaluación. La única diferencia entre ambos escenarios fue el punto desde el cual se inicia el recorrido dentro del pasillo.

### **3.1.6. Resultados del modelo de optimización**

Además de generar una disposición de productos mejorada, el modelo permitió comparar distintas políticas de flujo, observándose un mejor desempeño global al iniciar el recorrido desde el frente del pasillo.

Asimismo, este arroja los tiempos actuales promedios de zorro por producto visitado y de reposición por caja pedida, los cuales son de 18,13 [s/producto visitado] y 1,23 [s/caja] respectivamente y son utilizados para el cálculo del tiempo de armado de pedidos y para la simulación posterior del proceso de despacho.

### **3.2. Modelado del tiempo de armado de camiones**

A partir del relevamiento de tiempos y de la observación directa del proceso, se identificó que los pedidos que combinan picking de cajas y pallets cerrados no se arman de manera secuencial. En la práctica, el avance del pedido se manifiesta como la llegada progresiva de pallets a la zona de espera, sin un orden definido entre pallets provenientes del picking y pallets cerrados.

Es por ello que, el proceso puede descomponerse en dos flujos principales que se desarrollan en paralelo y comparten recursos:

El flujo de armado con picking incluye la búsqueda de una tarima vacía, el apilado de cajas según el pedido, el traslado del pallet armado hacia la zona de envoltura y el etiquetado correspondiente. Estos pallets se producen de manera sucesiva y, mientras existan pallets pendientes de armado, las tareas posteriores de envoltura y traslado se desarrollan en paralelo con el picking, sin condicionar el avance de este flujo.

El flujo de pallets cerrados incluye la búsqueda, levantamiento y traslado de pallets completos hasta la zona de espera. En este mismo flujo se incorporan las tareas de montaje,

desmontaje, envoltura y maniobras asociadas a los pallets provenientes del picking, debido a que dichas tareas son realizadas por el mismo operario y autoelevador.

Dado que cada camión se conforma a partir de uno o varios pedidos, el análisis de los flujos paralelos se extiende al conjunto de pedidos asignados a un mismo transporte.

El tiempo de armado de un camión se determina como el valor máximo entre la sumatoria de los tiempos de picking y la sumatoria de los tiempos de pallets cerrados de todos los pedidos que lo componen, equivalente a un camino crítico.

Si bien durante la operación se observan tiempos de espera asociados al sistema de envoltura, estos no responden a una cola estricta y pueden variar según la prioridad. Debido a esto, dichos tiempos no se incorporan al tiempo estándar de armado.

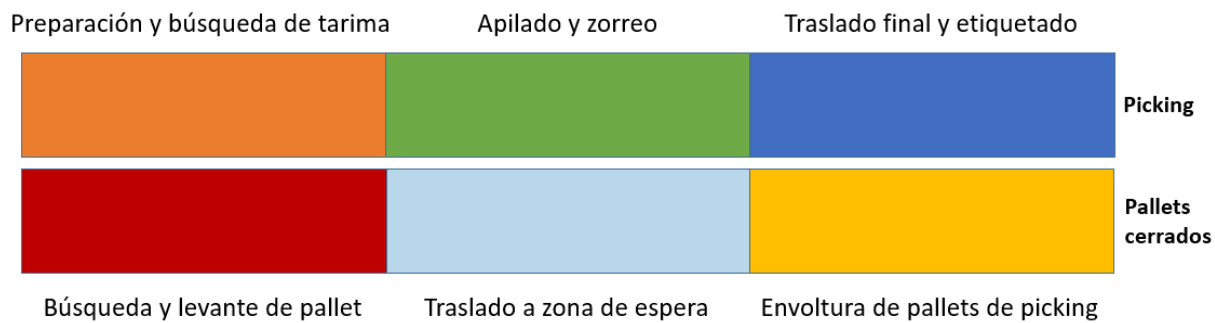


Figura X. Representación esquemática del armado de pedidos mediante flujos paralelos de picking y pallets cerrados.

Fuente: Elaboración propia (2026).

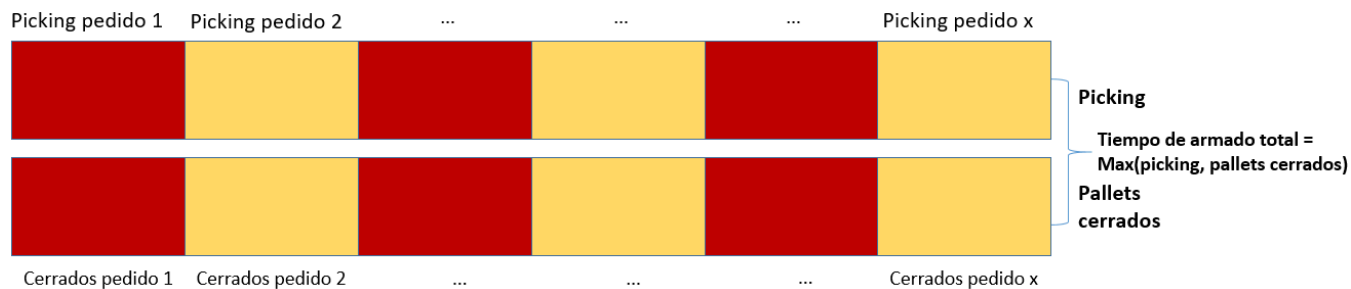


Figura X. Representación esquemática del armado de camiones mediante flujos paralelos de picking y pallets cerrados y obtención del tiempo total.

Fuente: Elaboración propia (2026).



Como complemento del desarrollo realizado, la lógica de cálculo del tiempo de armado de camiones y los tiempos estándar obtenidos fueron documentados y transmitidos al equipo de desarrollo del sistema de gestión utilizado por la empresa para su implementación. Su propósito es que, al momento de cargar un pedido, el responsable de logística disponga de una estimación consistente y comparable del tiempo de preparación asociado, que sirva como referencia para evaluar la carga diaria de trabajo, comparar escenarios alternativos de asignación de pedidos y apoyar la planificación aproximada de horas extra.

### **3.3. Generación de distribuciones de tiempo de armado de camiones**

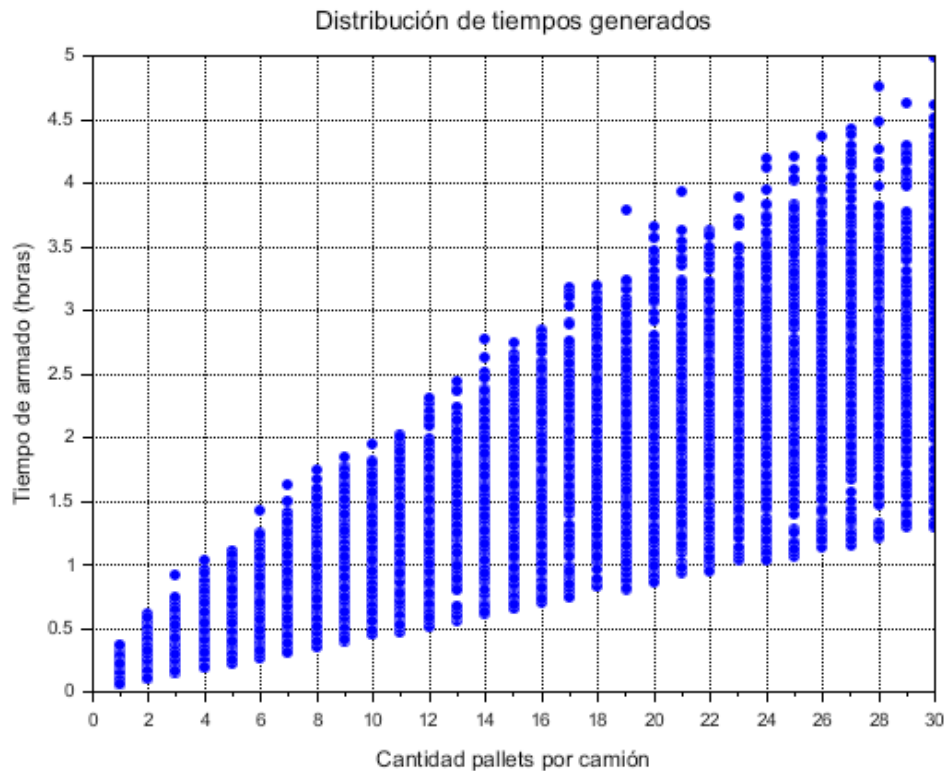
Se desarrolló un modelo de simulación de tipo Monte Carlo para generar distribuciones del tiempo de armado de camiones en función de su tamaño, expresado en cantidad de pallets. El modelo se construyó utilizando pedidos históricos reales como unidades básicas de análisis y parámetros de tiempo obtenidos mediante el estudio de tiempos.

La simulación se organiza en dos niveles. En un primer nivel, correspondiente al pedido individual, cada pedido histórico es procesado para determinar la cantidad total de pallets que lo componen y el tiempo requerido para su armado, calculado según la lógica de flujos paralelos descrita en la Sección 3.2. En un segundo nivel, correspondiente al camión, varios pedidos ya caracterizados se combinan de manera aleatoria para generar camiones completos de distintos tamaños, dentro de un rango definido de 1 a 30 pallets.

El modelo permite así generar una gran cantidad de camiones simulados para cada tamaño considerado, reproduciendo la variabilidad observada en la operación real como consecuencia de la diversidad en la estructura de los pedidos. A partir de estos resultados se obtienen distribuciones empíricas del tiempo de armado, las cuales permiten analizar la relación entre el tamaño del camión y el esfuerzo requerido.

Las distribuciones obtenidas se utilizan posteriormente como insumo para el análisis de colas de camiones y para la evaluación de escenarios de mejora relacionados con la capacidad y la dotación de recursos del depósito. De este modo, el modelo de simulación

vincula los resultados del estudio de tiempos con el análisis cuantitativo de la variabilidad y su impacto sobre el desempeño global del sistema.



**Figura X**

*Distribución del tiempo total de armado de camiones en función de la cantidad de pallets.*

Se observa una tendencia creciente aproximadamente lineal del tiempo medio a medida que aumenta la carga, lo cual resulta consistente con la lógica del proceso.

Para cargas elevadas, los tiempos presentan una dispersión creciente, reflejando un comportamiento menos estable del proceso a medida que se incrementa la complejidad del pedido, producto de la interacción entre secuencias de picking, reposiciones y esperas.

### **3.4. Simulación de armado y despacho de pedidos**

Se desarrolló un modelo de simulación que representa jornadas completas de trabajo del depósito, incluyendo el armado de pedidos, la llegada de camiones y el despacho de los

pedidos armados. El objetivo del modelo es estimar el tiempo total diario requerido por el depósito y analizar la generación de horas extra bajo distintas propuestas de mejora.

Para cada día simulado se generan las llegadas de camiones a partir de un registro histórico que incluye la hora de arribo y la cantidad de pallets por camión. El modelo considera en paralelo los procesos de armado de pedidos y de despacho, sin vincular pedidos individuales con camiones específicos porque el análisis se centra en los tiempos totales diarios y no en la trazabilidad de los pedidos.

Los tiempos de armado se obtienen a partir de las distribuciones definidas en la sección anterior, mientras que el proceso de despacho se modela en función de los recursos disponibles y de los tiempos relevados. La jornada se considera finalizada cuando no quedan procesos activos en el depósito, entonces, las horas extra del día se determinan como el excedente del tiempo total requerido respecto del horario de cierre, tomando como referencia el mayor entre el tiempo total de armado y el tiempo total de despacho.

El modelo no incorpora decisiones operativas de corto plazo observadas en la práctica, como reordenamientos dinámicos de pedidos, reasignaciones informales de tareas o armados en etapas por faltantes de stock, para enfocarse en la comparación consistente de escenarios.

#### **3.4.1. Estado del sistema**

El funcionamiento del depósito se simula de forma continua, de modo que el trabajo no se reinicia al comienzo de cada jornada y el modelo no reordena pedidos ni toma decisiones mirando días anteriores.

Solo se considera el estado del sistema al cierre de cada día y, cuando la carga de una jornada supera la capacidad disponible, el trabajo pendiente se continúa al día siguiente, en lugar de anticiparse retroactivamente en días previos.

#### **3.4.2. Uso del modelo para la evaluación de escenarios**

El modelo se validó comparando sus resultados con los datos históricos reales, verificando que el promedio de horas extra pagadas obtenido fuera consistente con el observado en la operación. Este se calibró tomando como referencia dicho valor promedio,

ajustando únicamente parámetros asociados a la capacidad efectiva diaria del depósito, los cuales no son directamente medibles. La estructura del proceso, los tiempos unitarios de armado y despacho y los registros históricos de llegada de camiones se mantuvieron sin modificaciones.

Este programa constituye la herramienta principal de evaluación del trabajo, sobre la cual se estiman las horas extra del estado actual y se calculan sus costos asociados, permitiendo cuantificar el impacto de las propuestas planteadas.

3.4.3. Generación de horas extra en el estado actua

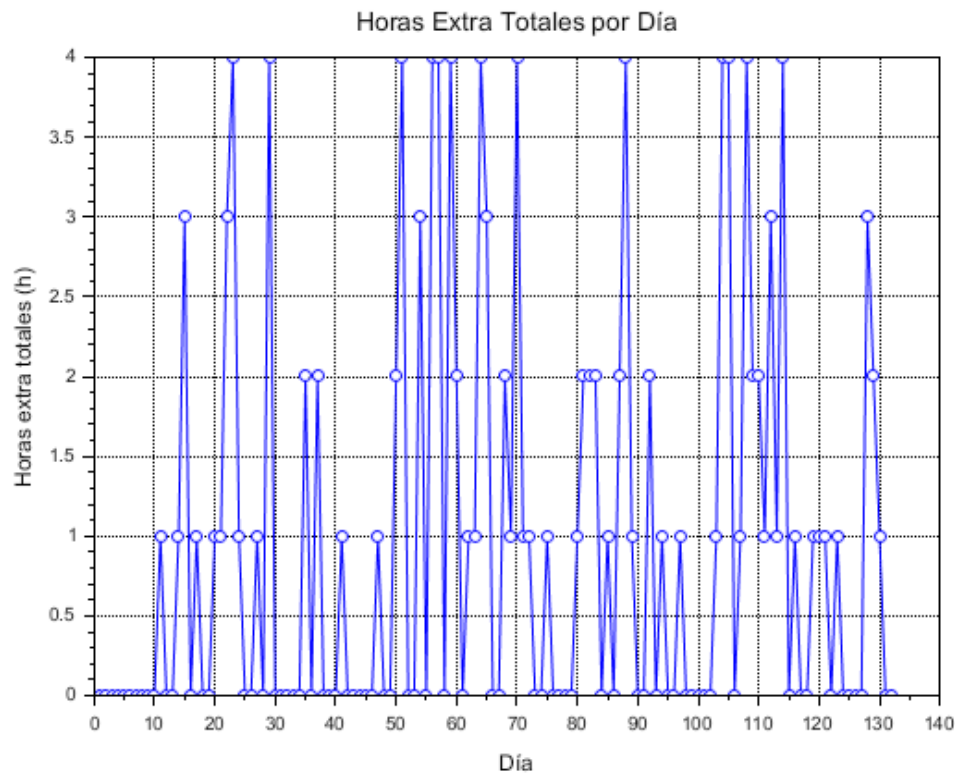


Figura X. Horas extra pagadas simuladas por día.

Cada punto representa el total de horas extra generadas en una jornada simulada.

Se observa una alta variabilidad diaria, con alternancia entre días sin horas extra y días con picos significativos.

La simulación reproduce un comportamiento intermitente en la generación de horas extra, con coexistencia de jornadas sin excedentes y jornadas con picos elevados. Este comportamiento es consistente con la naturaleza variable del depósito, en el que la carga diaria y su distribución temporal afectan la extensión de la jornada.

Tabla X. Estadísticos de horas extra simuladas.

Indicador	Valor
Promedio diario de horas extra simulado	0,95 h/día
Promedio diario de horas extra real	0,98 h/día
Desvío estándar	1,31 h
Máximo diario observado	4,0 h
Días con horas extra	62 de 132 (47,0 %)

En promedio, el sistema genera aproximadamente 0,9 horas extra por día, aunque con una dispersión elevada. Casi la mitad de las jornadas simuladas presentan algún nivel de horas extra, lo que indica que el fenómeno no se limita a situaciones excepcionales, sino que forma parte del funcionamiento habitual del sistema bajo las condiciones actuales.

#### 3.4.4. Comparación entre armado y despacho

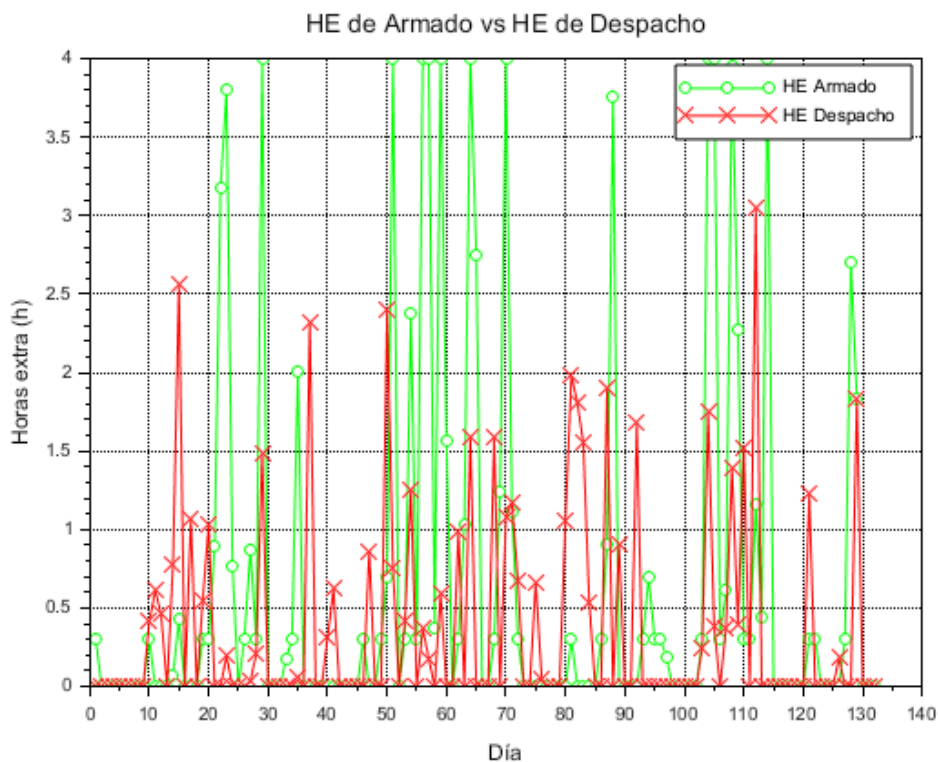


Figura X. Descomposición de las horas extra por proceso.

Comparación diaria entre las horas extra originadas en el proceso de armado de pedidos y en el proceso de despacho de camiones.

El análisis muestra que las horas extra no se originan siempre en el mismo proceso. En algunas jornadas el armado resulta dominante, mientras que en otras el despacho constituye el cuello de botella.

### **3.4.5. Costo anual asociado a horas extra**

Tabla X. Estimación de costos asociados a horas extra en pesos argentinos.

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Días simulados	132
Valor hora extra de todo el depósito	\$41.220
Costo total simulado	\$5.193.720
Costo mensual estimado	\$1.180.391
Costo anual proyectado	\$11.803.909

A partir de los resultados de la simulación y del valor unitario de la hora extra, se estimó un costo anual del orden de los diez millones de pesos asociado al estado actual de operación. Este valor permite dimensionar el impacto económico del problema y constituye una referencia directa para evaluar la conveniencia de las propuestas de mejora analizadas en las secciones siguientes.

## **4. Propuesta de mejora**

### **4.1. Dotación del personal**

En el esquema actual, la superposición de actividades importantes, como el armado de pedidos con picking, el despacho de camiones y el armado de pallets cerrados con envoltura, puede requerir en conjunto, más operarios de los efectivamente disponibles en el depósito. En situaciones desfavorables, esto obliga a reducir dotaciones en alguna de las tareas o a postergarlas.

Las propuestas consisten en redistribuir la dotación de personal, eliminando asignaciones que no aportan valor para mejorar la utilización de la mano de obra disponible, sin incrementar la dotación total. Durante los despachos, parte de la dotación del depósito pospone la tarea de armado de pedidos, reduciendo su velocidad de producción.

#### **4.1.1. Reorganización del flujo de pallets desde planta hasta depósito**

Se propone eliminar la etapa de almacenamiento intermedio temporal en la salida de la empresa, integrando el traslado de pallets desde el depósito de final de línea directamente al depósito de producto terminado. En el esquema actual, esta instancia intermedia introduce detenciones innecesarias en el flujo, incrementa la manipulación de pallets y concentra carga de trabajo sobre el operario que realiza el ingreso final. Adicionalmente, este almacenamiento expone los pallets a condiciones climáticas externas, como lluvia y humedad, con el consecuente riesgo de deterioro del producto y del embalaje.

Bajo la propuesta, el operario que retira los pallets del depósito de final de línea será responsable de su ingreso directo al depósito de producto terminado. En aquellos casos en que el pallet no se encuentre correctamente envuelto y requiera una nueva envoltura, este será colocado en el pasillo frente a la zona de envoltura para evitar interferencias con el flujo principal o en la misma cola de pallets.

#### **COLOCAR IMAGEN DE CROQUIS SEÑALANDO PASILLO**

Adicionalmente, se propone que este mismo operario priorice, cuando la situación lo permita, la reposición de pallets en la zona de picking en lugar de almacenar indiscriminadamente en posiciones de producto terminado para reducir la cantidad de reposiciones posteriores realizadas con autoelevador.

**El cambio esperado es...**

#### **4.1.2. Asignación fija de tareas de envoltura al operario de autoelevador**

Se propone reorganizar la ejecución de la tarea de envoltura, eliminando la asignación circunstancial de un operario específico para dicha función y concentrando la responsabilidad de envolver los pallets en el operario de autoelevador que realiza el armado de pedidos con pallets cerrados y participa en el despacho.



Durante el relevamiento se observó que, si bien en algunos momentos un operario brinda apoyo en la envoltura, esta asignación no constituye un puesto fijo ni exclusivo, y se interrumpe con frecuencia para atender otras tareas operativas. Esta dinámica genera alternancias frecuentes entre actividades, desplazamientos innecesarios y períodos de inactividad de la envolvedora cuando no hay pallets disponibles.

Bajo el esquema propuesto, el operario de autoelevador mantiene una secuencia de trabajo más continua, abarcando la recepción de pallets desde planta, el armado de pedidos con pallets completos y la envoltura correspondiente cuando esta resulta necesaria. La tarea de envoltura se incorpora como parte del flujo normal de armado, evitando reasignaciones informales y superposición de funciones.

Esta reorganización implica que la envoltura deje de ejecutarse en paralelo con el armado de pallets cerrados, incorporándose al ciclo del operario de autoelevador. En particular, al tiempo base de armado se adiciona el tiempo de montaje, envoltura y desmontaje del pallet. El encintado y etiquetado no incrementan el tiempo total del ciclo, dado que suelen realizarse durante el giro de la envolvedora, aprovechando el tiempo de máquina.

Si bien esta modificación introduce un aumento acotado del tiempo de armado de pallets completos, dicho incremento se ve compensado por una mejora en la utilización global de la mano de obra, al reducir la dispersión de tareas, eliminar tiempos ociosos asociados a la envolvedora y liberar capacidad operativa para otras actividades críticas del depósito.

#### **4.1.3. Definir una segunda zona de picking**

Como resultado de la propuesta anterior, al eliminar la necesidad de que intervengan dos operarios distintos en la tarea de envoltura, se propone reorganizar la dotación de personal y definir una segunda zona de picking, asignando cuatro operarios y dos zorras eléctricas, con dos operarios por cada zona, de modo de permitir el armado simultáneo de dos pallets. Actualmente, tres operarios se concentran en el armado de un único pallet, lo que limita la capacidad de respuesta ante pedidos de mayor volumen o variedad.

Este esquema implica un aumento del tiempo unitario de apilado en cada zona de picking, dado que se pasa del escenario actual de tres operarios trabajando sobre un único pallet a dos operarios por zona. En los relevamientos realizados, este cambio se traduce en un incremento del tiempo de apilado de 1,9 a 2,8 segundos por caja.

No obstante, este efecto se ve compensado por la incorporación de una segunda zona de picking en paralelo. A los fines de la simulación, se adoptó como supuesto que ambas zonas presentan la misma productividad, por lo que la capacidad total de picking se modeló como la suma de las dos zonas.

Tabla X. Estadísticos de horas extra simuladas bajo propuesta.

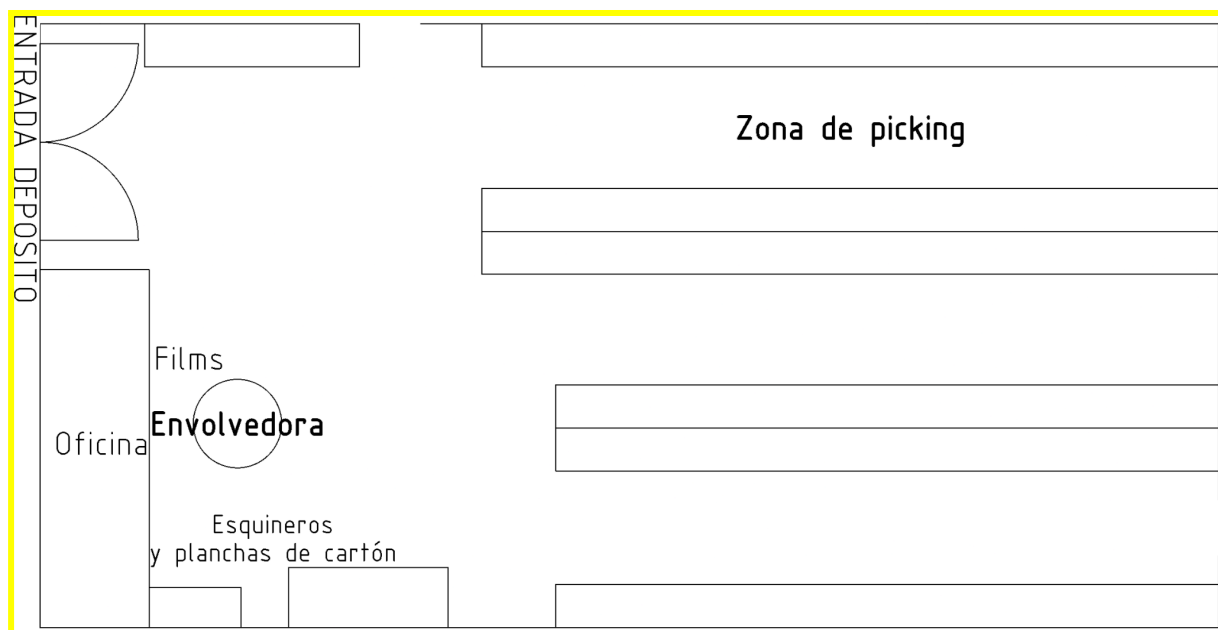
<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
Promedio diario de horas extra	0,83 h/día
Desvío estándar	1,23 h
Máximo diario observado	4,0 h
Días con horas extra	55 de 132 (41,7 %)

Respecto del estado actual, la propuesta reduce el promedio diario de horas extra y el desvío estándar asociado, sin modificar el máximo diario observado.

Tabla X. Estimación de costos asociados a horas extra en pesos argentinos bajo propuesta.

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Días simulados	132
Costo total simulado	\$4.534.200
Costo mensual estimado	\$1.030.500
Costo anual proyectado	\$10.305.000

En comparación con el escenario base, la propuesta reduce el costo total asociado a horas extra y la proyección mensual y anual correspondiente.



#### 4.1.4. Reducción de dotación en despacho mediante reasignación de tareas de control

Se propone reorganizar la dotación de personal durante el proceso de despacho, reduciendo de tres a dos los operarios involucrados de manera simultánea. En el esquema actual, el despacho se realiza con el operario que maneja la zorra manual dentro del camión, el que carga los pallets mediante el autoelevador y el que está dedicado exclusivamente a tareas de control y registro utilizando una tablet y una planilla manual.

Bajo la propuesta, las tareas de control se redistribuyen entre los dos operarios que participan activamente de la carga. El operario que maneja la zorra dentro del camión asume el registro en la tablet, mientras que el operario del autoelevador se encarga de completar la planilla manual.

De este modo, se elimina la necesidad de un puesto exclusivo de supervisión durante el despacho, sin suprimir las instancias de control ni comprometer la trazabilidad de la operación. La carga continúa realizándose con dos roles claramente definidos, manteniendo la separación entre maniobras físicas y registro de información.

Se prevé un ligero incremento en los tiempos de despacho, el cual se ve compensado por la posibilidad de reasignar al operario previamente dedicado al control a tareas de armado de pedidos durante los despachos.

De este modo, se puede mitigar el efecto de absorción de recursos que este genera sobre el resto de las actividades del depósito.

Tabla X. Estadísticos de horas extra simuladas bajo propuesta.

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
Promedio diario de horas extra	0,89 h/día
Desvío estándar	1,28 h
Máximo diario observado	4,0 h
Días con horas extra	58 de 132 (43,9 %)

Respecto del estado actual, la propuesta reduce el promedio diario de horas extra y el desvío estándar asociado, sin modificar el máximo diario observado.

Tabla X. Estimación de costos asociados a horas extra en pesos argentinos bajo propuesta.

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Días simulados	132
Costo total simulado	\$4.863.960
Costo mensual estimado	\$1.105.445
Costo anual proyectado	\$11.054.455

En comparación con el escenario base, la propuesta reduce el costo total asociado a horas extra y la proyección mensual y anual correspondiente.

#### 4.1.X. Asignación de dotación durante el despacho

Como resultado de la propuesta anterior, se propone modificar la asignación de personal durante el despacho de camiones, incorporando al despacho dos operarios adicionales para atender la llegada simultánea de camiones.

Con esta política, se mantiene un único operario dedicado al armado de pedidos sin picking, mientras que el armado por picking se interrumpe de forma temporal hasta finalizar el despacho.

En ausencia de despachos activos, el área de armado operaría con las dos zonas de picking en paralelo propuestas, conformadas por cuatro operarios, y un operario adicional dedicado al armado de pedidos sin picking.

Tabla X. Estadísticos de horas extra simuladas bajo propuesta.

Indicador	Valor
Promedio diario de horas extra	0,67 h/día
Desvío estándar	1,14 h
Máximo diario observado	4,0 h
Días con horas extra	47 de 132 (35,6 %)

Respecto del estado actual, la propuesta reduce el promedio diario de horas extra y el desvío estándar asociado, sin modificar el máximo diario observado.

Tabla X. Estimación de costos asociados a horas extra en pesos argentinos bajo propuesta.

Concepto	Valor
Días simulados	132
Costo total simulado	\$3.627.360
Costo mensual estimado	\$824.400

Costo anual proyectado	\$8.244.000
------------------------	-------------

En comparación con el escenario base, la propuesta reduce el costo total asociado a horas extra y la proyección mensual y anual correspondiente.

#### **4.1.5. Layout del pasillo de picking**

A partir de los resultados obtenidos mediante el modelo de recocado simulado, se identificaron oportunidades de mejora asociadas a la disposición de la mercadería dentro del pasillo de picking y al uso del espacio disponible.

En primer lugar, se propone reorganizar la ubicación de los productos en el pasillo de picking de acuerdo con el layout optimizado, priorizando la cercanía entre productos de mayor demanda y aquellos que aparecen con mayor frecuencia en conjunto dentro de los pedidos.

En segundo lugar, se propone eliminar el almacenamiento temporal de pallets en el interior del pasillo de picking. La presencia de pallets en el medio del pasillo introduce interferencias en la circulación, dificulta las maniobras y limita la capacidad de trabajo simultáneo. Su eliminación mejora la fluidez del movimiento dentro del pasillo y habilita la incorporación de una segunda zorra de armado.

Adicionalmente, con la situación actual, la dificultad para maniobrar dentro del pasillo obliga a realizar reposiciones desde sectores más alejados del depósito, incrementando recorridos y tiempos. Con el pasillo despejado, el autoelevador puede ingresar con mayor frecuencia para bajar pallets desde posiciones altas de los racks, reduciendo el tiempo asociado a las reposiciones y mejorando la continuidad del armado.

El modelo arrojó una reducción del tiempo promedio de zorro por producto visitado del 34,75%, pasando de 18,07 [s/producto visitado] en la disposición actual a 11,79 [s/producto visitado] y en la disposición optimizada. Asimismo, la cantidad de reposiciones se mantiene constante.

A los fines de la comparación, el estado actual se definió considerando la disposición relevada en la operación, que incluye el uso de pallets temporales ubicados dentro del

pasillo de picking, mientras que el escenario optimizado se construyó eliminando dichas posiciones intermedias. Esto resulta relevante porque habilita la implementación de otras propuestas de mejora desarrolladas en este trabajo, que no serían viables con el pasillo ocupado.

Esta reducción anual podría reducir las horas extra respecto del escenario actual.

Tabla X. Estadísticos de horas extra simuladas bajo propuesta.

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
Promedio diario de horas extra	0,83 h/día
Desvío estándar	1,19 h
Máximo diario observado	4,0 h
Días con horas extra	57 de 132 (43,2 %)

Respecto del estado actual, la propuesta reduce el promedio diario de horas extra y el desvío estándar asociado, sin modificar el máximo diario observado.

Tabla X. Estimación de costos asociados a horas extra en pesos argentinos bajo propuesta.

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Días simulados	132
Valor hora extra de todo el depósito	\$41.220
Costo total simulado	\$4.492.980
Costo mensual estimado	\$1.021.132
Costo anual proyectado	\$10.211.318

En comparación con el escenario base, la propuesta reduce el costo total asociado a horas extra y la proyección mensual y anual correspondiente.

#### 4.1.6. Esquema horario

A partir del análisis realizado se identificó que la carga de trabajo del depósito presenta una distribución horaria desigual, con picos de armado intensivo de pedidos, la concentración de despachos y la llegada simultánea de camiones. Bajo la jornada rígida vigente, estos picos se resuelven mediante extensiones de jornada, aun cuando en otros momentos la carga de trabajo es sensiblemente menor.

Para ordenar la respuesta frente a esta variabilidad, se propone un esquema basado en turnos escalonados como estructura principal y un horario flotante como mecanismo complementario de ajuste. La activación del horario flotante se define antes del inicio de la jornada, en función del volumen diario de pedidos, la cantidad de camiones previstos y la acumulación de pedidos pendientes de armado. Toda extensión que supere los límites legales se computa y remunera como hora extra.

El esquema no elimina la necesidad de horas extra en situaciones excepcionales, pero permite reducir su recurrencia y magnitud al corregir desalineaciones entre la distribución horaria de la jornada y la concentración efectiva de la carga operativa. Para su aplicación resulta necesario contar con un registro horario confiable de ingreso y egreso del personal.

A partir del análisis del registro histórico de arribos de camiones, utilizado en la simulación de armado y despacho, se propone implementar dos cohortes de ingreso: un turno de 07:00 a 15:00 y otro de 08:00 a 16:00. Esta configuración se debe a la distribución observada de la demanda, que muestra una franja crítica entre las 08:00 y 09:00, donde se concentra el 22,9% del volumen total de pallets despachados, así como un segundo pico relevante a las 13:00 horas (16,5%).

El horario flotante permite gestionar la carga residual del cierre de jornada mediante extensiones puntuales, evitando la subutilización de recursos fijos, y habilita de forma inversa ingresos anticipados en escenarios de sobredemanda. Se sugiere el siguiente esquema piloto:

Cuadro X: Esquema propuesto de horarios escalonados del personal de depósito



Operario	Rol principal	Horario de ingreso	Horario de egreso	Jornada
Op1	Recepción mercadería planta-depósito y tareas mixtas	07:00	15:00	8 h
Op2	Autoelevador, traslados, armado sin picking, envoltura	07:00	15:00	8 h
Op3	Armado de pedidos (picking)	08:00	16:00	8 h
Op4	Armado de pedidos (picking)	08:00	16:00	8 h
Op5	Armado de pedidos (picking)	08:00	16:00	8 h

#### **4.1.7. Mejora del uso de la envolvedora**

Se propone a la empresa evaluar ajustes para que la envolvedora pueda operar de forma automática y confiable, sin requerir la presencia constante del operario durante el ciclo. Esta medida busca que el pallet quede correctamente envuelto, con tensión adecuada y que no se produzcan roturas de film durante el giro, permitiendo que el operario inicie el ciclo y se retire. Para ello, se propone revisar si el film utilizado es el más adecuado para el tipo de carga y realizar pruebas controladas ajustando los parámetros del ciclo automático.

En forma complementaria, se propone evaluar la incorporación de un indicador visual simple que informe si la tensión de envoltura se encuentra dentro de un rango aceptable. También se recomienda solicitar una inspección técnica del proveedor para verificar el funcionamiento y calibración del sistema de detección de altura, considerando las diferentes alturas de pallets provenientes del picking.

#### **4.1.8. Capacitar en envoltura de pallets al final de línea de producción**

Capacitar al personal que realiza la envoltura de pallets al final de la línea de producción para asegurar una envoltura estándar adecuada antes del ingreso al depósito. Definir claramente el nivel mínimo de envoltura aceptable, en cantidad de vueltas, tensión y

cobertura, alineado con las condiciones reales de manipulación y despacho. Como complemento, incluir criterios específicos para ciertos productos que tienden a condensar o transpirar, donde la envoltura debe adaptarse para evitar acumulación de humedad y daño en las cajas.

La medida apunta a reducir retrabajos en el depósito, consumo innecesario de film y uso de tiempo en reenvoltura de pallets. También busca disminuir daños en cajas asociados a humedad en los productos, mejorando la calidad del almacenamiento y del despacho.

#### 4.2. Resultados

En conjunto, una aplicación integral de estas propuestas, daría como resultado un depósito de cinco operarios que trabaja con turnos escalonados y horario flotante, 4 operarios dedicados a picking, con una disposición optimizada de la mercadería, y 1 a armado a pallets cerrados y envoltura, sin la necesidad de tener que envolver pallets de fábrica ni de supervisar la máquina durante su ciclo de giro. Esto podría generar un ahorro anual de:

Tabla X. Estadísticos de horas extra simuladas bajo propuesta.

Indicador	Valor
Promedio diario de horas extra	0,60 h/día
Desvío estándar	1,05 h
Máximo diario observado	4,0 h
Días con horas extra	45 de 132 (34,1 %)

Respecto del estado actual, la propuesta reduce el promedio diario de horas extra y el desvío estándar asociado, sin modificar el máximo diario observado.

Tabla X. Estimación de costos asociados a horas extra en pesos argentinos bajo propuesta.

Concepto	Valor
----------	-------

Días simulados	132
Valor hora extra de todo el depósito	\$41.220
Costo total simulado	\$3.256.380
Costo mensual estimado	\$740.086
Costo anual proyectado	\$7.400.864

En comparación con el escenario base, la propuesta reduce el costo total asociado a horas extra y la proyección mensual y anual correspondiente.

## **5. Conclusiones**

## **6. Bibliografía**

- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). Discrete-event system simulation (5th ed.). Pearson Education.
- Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2014). Warehouse & distribution science. The Supply Chain and Logistics Institute, Georgia Institute of Technology.
- Barnes, R. M. (1997). Estudios del trabajo: medición del trabajo y diseño de métodos (7.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Fishman, G. S. (1996). Monte Carlo: Concepts, algorithms, and applications. Springer.
- Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2010). Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.07.031>
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 671–680. <https://doi.org/10.1126/science.220.4598.671>
- Law, A. M. (2015). Simulation modeling and analysis (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). Ingeniería industrial y de métodos: estudio del trabajo y medición del trabajo (12.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Organización Internacional del Trabajo. (1996). Introducción al estudio del trabajo (4.<sup>a</sup> ed.). OIT.

Rubinstein, R. Y., & Kroese, D. P. (2017). Simulation and the Monte Carlo method (3rd ed.). Wiley.

Taha, H. A. (2012). Investigación de operaciones (9.<sup>a</sup> ed.). Pearson Educación.

## **Anexos**

### **Anexo X: Tiempos observados**

Este anexo presenta los tiempos observados obtenidos durante el relevamiento de campo y describe el proceso de cribado aplicado para seleccionar las observaciones utilizadas en el cálculo de los tiempos normalizados y estándar.

#### **X.2 Registro de tiempos observados**

Se presenta a continuación una muestra representativa del registro de tiempos.

Tabla X.2 -

Durante el relevamiento, las observaciones claramente afectadas por errores de medición o interrupciones ajenas al método fueron descartadas en el momento del cronometraje. Al analizar los tiempos obtenidos se presentó una dispersión significativa en algunos ciclos, asociada a la variabilidad propia del proceso. No se identificaron valores atípicos, por lo que los datos se consideraron representativos y no se aplicó un cribado adicional.

### **Anexo B: Implementación del modelo de optimización del layout de picking**

Este anexo complementa la Sección 3.1.

#### **B.1. Representación de una solución**

El modelo realiza una asignación de códigos de producto al conjunto de posiciones de los racks del área de picking. Cada posición puede estar ocupada por un único producto y se permite que un mismo código ocupe más de una posición.

Los productos que no reciben posiciones pasan a la reserva.

## **B.2. Solución inicial**

Como solución inicial del algoritmo se utiliza la disposición actual del pasillo de picking, relevada durante el estudio de campo.

## **B.3. Generación de soluciones vecinas**

A partir de la solución inicial dada, el algoritmo genera nuevas configuraciones, entre las cuales se incluyen: el intercambio de posiciones entre dos productos ubicados en el pasillo, el reemplazo de un producto ubicado en el área de picking por un producto actualmente en reserva.

## **B.4. Restricciones incorporadas al modelo**

Además de los criterios de desempeño descritos en la Sección 3.1, el modelo de optimización incorpora un conjunto de restricciones observadas durante el relevamiento en planta, con el objetivo de evitar disposiciones que, si bien podrían resultar favorables desde un punto de vista teórico, no serían aplicables en la práctica.

En particular, se consideraron las siguientes restricciones:

### **B.4.1. No alternancia de formatos de producto**

Los operarios no alternan de manera repetitiva productos de distinto formato durante el armado de pallets. En su lugar, tienden a agrupar productos de características similares, formando bloques consecutivos de un mismo código o formato, con el fin de que los pallets tengan una forma regular.

Por este motivo, el modelo penaliza disposiciones que generen secuencias de picking con alternancias frecuentes entre productos de distinto formato, favoreciendo configuraciones en las que los productos se agrupan en bloques homogéneos.

### **B.4.2. Restricción de productos frágiles**

Durante el armado de pallets, los productos frágiles, como velas y líquidos, no se colocan en la base del pallet, dado que pueden deformarse o dañarse bajo carga. En consecuencia, el modelo incorpora una penalización a aquellas disposiciones que incentiven la ubicación de este tipo de productos en posiciones que, por el orden de recorrido,

tenderían a ser armadas en las capas inferiores del pallet, priorizando la colocación de productos de mayor rigidez en dichas posiciones.

#### **B.5. Función de evaluación**

Cada disposición generada se evalúa mediante una función de desempeño que combina: una estimación de los desplazamientos durante el picking, penalizaciones asociadas a cambios de formato y restricciones operativas del armado de pallets, una estimación de la cantidad de reposiciones desde reserva, calculada a partir de la demanda histórica y la capacidad de los pallets completos.

#### **B.6. Esquema del algoritmo**

En síntesis, se genera una solución vecina a partir de la disposición actual, se evalúa su desempeño relativo, las soluciones que mejoran el desempeño se aceptan siempre, las soluciones que lo empeoran pueden aceptarse con una probabilidad decreciente a lo largo de la ejecución.

El control de esta probabilidad se realiza mediante un parámetro de temperatura, que disminuye progresivamente, reduciendo la aceptación de soluciones desfavorables a medida que avanza el proceso.

#### **B.7. Criterios de parada**

La ejecución del algoritmo finaliza al cumplirse un número máximo de iteraciones sin mejoras significativas en la función de desempeño o al alcanzarse un valor mínimo de temperatura.

El resultado del modelo es una disposición de productos que presenta un mejor desempeño relativo respecto de la situación inicial.

#### **B.8. Estimación del tiempo de desplazamiento con zorra**

El modelo de optimización permite, además, estimar parámetros promedio del proceso de picking.

El tiempo de desplazamiento durante el picking se estima a partir de la disposición relativa de los productos en el área y de la frecuencia con la que estos aparecen conjuntamente en los pedidos.

Para cada par de productos X e Y ubicados en el área de picking, se dispone de: la distancia física entre sus posiciones y la cantidad de veces que ambos productos aparecen conjuntamente en los pedidos del período analizado (afinidad).

Para cada producto X, se calcula una distancia promedio ponderada como:

$$\overline{d}_x = \sum_{y=1}^n \left( \frac{f_{xy}}{\sum_{y=1}^n f_{xy}} \right) d_{xy}$$

donde  $d_{xy}$  es la distancia física entre los productos X e Y, y  $f_{xy}$  es la cantidad de veces que ambos aparecen conjuntamente en los 1690 pedidos analizados.

Este valor representa la distancia promedio que debe recorrerse desde el producto X hacia los demás productos del área, ponderada por la frecuencia de co-ocurrencia en los pedidos.

A partir de las distancias promedio individuales de cada producto, se obtiene una distancia promedio representativa del área de picking:

$$\overline{d}_{\text{área}} = \frac{1}{N} \sum_{x=1}^n \overline{d}_x$$

N es la cantidad de productos ubicados en el área de picking.

Finalmente, la distancia promedio del área se convierte en un tiempo promedio de desplazamiento utilizando una velocidad promedio de desplazamiento con zorra, relevada durante el estudio de tiempos:

$$\overline{T}_{\text{zorreo}} = \frac{\overline{d}_{\text{área}}}{v_{\text{zorreo}}}$$

donde  $v_{\text{zorreo}}$  es aproximadamente de 40 m/min.

El valor obtenido representa un tiempo promedio de desplazamiento por producto visitado, utilizado como parámetro en los modelos posteriores.

## **B.9. Estimación del tiempo de reposición en el área de picking**

El tiempo de reposición se estima a partir del consumo efectivo de cajas durante el período analizado y de la capacidad de los pallets completos de cada producto.

Para cada producto, se calcula la cantidad de reposiciones necesarias como:

$$R_i = \frac{C_i}{N_{\text{cajas pallet } i}}$$

donde  $C_i$  es la cantidad de cajas consumidas del producto  $i$  durante el período, y  $N_{\text{cajas pallet } i}$  es la cantidad de cajas que conforman un pallet completo del mismo producto.

La suma de las reposiciones de todos los productos permite obtener la cantidad total de reposiciones realizadas en el área de picking:

$$R_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n R_i$$

El tiempo total dedicado a la reposición se estima multiplicando la cantidad total de reposiciones por un tiempo promedio por reposición, obtenido a partir del estudio de tiempos:

$$T_{\text{repos}} = R_{\text{total}} \times \overline{T_{\text{repos}}}$$

Con el objetivo de expresar este resultado en una forma unitaria y comparable, el tiempo total de reposición se divide por la cantidad total de cajas armadas en el período:

$$T_{\text{repos caja}} = \frac{T_{\text{repos}}}{C_{\text{total}}}$$

Este valor representa el tiempo promedio de reposición imputable a cada caja armada..

## B.10. Entradas y resultados

Tabla B.10 Archivos y registros empleados como entrada y salida en el modelo de simulación

Resultado	Descripción
Layout actual de la zona de picking	Matriz con coordenadas X e Y que representan el layout actual de la mercadería en la zona de picking.
Layout mejorado de la zona de picking	Matriz con coordenadas X e Y que representan el layout mejorado.



Tiempo de zorro por producto visitado	18 segundos por producto visitado.
Tiempo de reposición por caja	1,16 segundos por caja apilada.

## Anexo C: Cálculo de los tiempos de armado por pedido y distribuciones por camión

Este anexo complementa las Secciones 3.2 y 3.3.

### C.1. Definición matemática del tiempo de armado

El tiempo total de armado de un camión se modela a partir de dos flujos de trabajo que pueden ejecutarse en paralelo: una asociada al armado con picking y otra al manejo de pallets cerrados. Cada pedido aporta un tiempo al flujo de picking y/o al flujo de pallets cerrados, denotadas como  $F_{1i}$  y  $F_{2i}$  respectivamente.

El tiempo total de armado de un camión se obtiene como el máximo entre la suma de los tiempos de picking y los tiempos de pallets cerrados de todos los pedidos que lo componen:

$$T_{camión} = \max\left(\sum_{i=1}^n F_{1i}, \sum_{i=1}^n F_{2i}\right)$$

### C.2. Parámetros del modelo

Los parámetros utilizados en el cálculo de tiempos se presentan en la Tabla A.2. Los valores corresponden a promedios obtenidos durante el relevamiento y se expresan en minutos, salvo indicación en contrario.

Tabla C.2 Parámetros del modelo de armado de pedidos

Flujo	Parámetro	Descripción	Unidad	Valor
F1	T_caja	Suma de tiempo de apilado por caja (1,89 s) y tiempo de reposición por caja (1,16 s).	s/caja	3,06

F1	T_producto_visitado	Suma de tiempo de zorro por producto visitado (18 s) y tiempo transición apilado-zorro (13,38 s).	s/produ cto visitado	31,84
F1	T_pallet_armado	Suma de tiempo de búsqueda y reposición de tarima (35,86 s), traslado de zorra a zona de picking (9 s), traslado a zona de envoltura (19,1 s) y etiquetado (18,5 s).	s/pallet	82,46
F1	T_planific_picking	Tiempo fijo de planificación	s/camió n	152,78
F2	T_planific_cerrados	Tiempo fijo de planificación	s/camió n	76,39
F2	T_pallet_cerrado	Suma de tiempo de búsqueda y levantamiento de pallet (91,58 s), control de planilla (5,1 s), traslado a zona de espera (33,11 s) y retorno (16,55 s).	s/pallet	146,35
F2	T_envoltura	Suma de tiempo de montar y desmontar (25,33 s), tiempo de envoltura (78 s), traslado a zona de espera (33,11 s) y retorno (16,55 s). Este tiempo es generado por los pallets que salen de picking.	s/pallet	153
F1	N_cajas_pallet	Cantidad promedio de cajas en un pallet	cajas/p allet	147,84

Para el cálculo final de los tiempos de armado, todos los valores se convierten a horas.

### C.3. Registros utilizados

Tabla C.3 Archivos y registros empleados como entrada y salida en el modelo de simulación

Registro	Descripción
Listado de productos comercializados	Listado con la relación entre código de artículo y cantidad de cajas por pallet completo
Listado de pedidos	Detalle histórico de pedidos (pedido, artículo y cantidad de cajas). 1690 pedidos reales procesados durante un período de 122 días, comprendido entre el 26/06/2025 y el 17/11/2025
Distribuciones según tamaño	Resultados de la simulación (camiones y tiempos de armado)

### C.4. Ejemplo numérico ilustrativo

Con fines ilustrativos, se presenta un ejemplo simplificado del cálculo del tiempo de armado de un camión compuesto por dos pedidos.

Se considera un camión compuesto por dos pedidos, cuyas características se resumen en la Tabla C.4.

**Tabla C.4 Camión ejemplo**

Pedido	Cajas a pickear	Productos distintos visitados en picking	Pallets completos
1	120	6	1
2	80	4	2

Para cada pedido, el flujo de picking se calcula como:

$$F_{1i} = N_{cajas\ i} \times T_{caja} + N_{prod\ i} \times T_{producto\ visitado} + \text{redondear.mas}\left(\frac{N_{cajas\ i}}{N_{cajas\ pallet}}\right) \times T_{pallet\ armado}$$

Para cada pedido, el flujo de pallets cerrados se calcula como:

$$F_{2i} = N_{\text{pallets completos}} \times T_{\text{pallet cerrado}} + \text{redondear.mas}\left(\frac{N_{\text{cajas } i}}{N_{\text{cajas pallet}}}\right) \times T_{\text{envoltura}}$$

Como resultados por pedido se obtiene:

Pedido	F1 <sub>i</sub> (s)	F2 <sub>i</sub> (s)
1	641	299
2	455	446

Luego los tiempo totales por flujo del camión son:

$$F_{1\text{camión}} = F_{11} + F_{12} + T_{\text{planificación picking}} = 641 + 455 + 152,78 = 1249 \text{ s}$$

$$F_{2\text{camión}} = F_{21} + F_{22} + T_{\text{planificación cerrados}} = 299 + 446 + 76,39 = 821 \text{ s}$$

Los tiempos de planificación se incorporan una única vez por camión, dado que corresponden a tareas previas al inicio del armado.

Aplicando el criterio de camino crítico:

$$T_{\text{camión}} = \max(1249, 821) = 1249 \text{ s} \approx 21 \text{ min}$$

## Anexo D: Modelo de simulación de armado y despacho

Este anexo complementa la Sección 3.4.

### D.1. Horizonte temporal y unidad de simulación

La simulación se desarrolla a nivel de jornadas completas de trabajo. Cada jornada se modela como un período continuo de trabajo, en el cual se ejecutan en paralelo los procesos de armado de pedidos y despacho de camiones.

El modelo no reinicia el sistema al comienzo de cada día, sino que conserva el trabajo pendiente cuando la carga diaria supera la capacidad disponible, continuando su procesamiento en jornadas posteriores.

## **D.2. Generación de la carga diaria**

Para cada jornada simulada, la carga de trabajo se genera a partir de un registro histórico real de arribos de camiones en un período de 132 días que contiene, para cada camión, la hora de arribo y la cantidad de pallets a cargar en estos.

## **D.3. Interacción entre los procesos de armado y despacho**

Si bien el modelo representa los procesos de armado de pedidos y despacho de camiones como procesos concurrentes, estos no se desarrollan de manera completamente independiente, dado que comparten recursos operativos.

En la operación real, el área de picking cuenta con tres operarios dedicados al armado de pedidos con picking, un operario dedicado al armado de pallets cerrados y un operario de apoyo que realiza tareas de envoltura, limpieza y asistencia general. Durante la ejecución de un despacho, tres operarios se asignan prioritariamente a dicha tarea, típicamente el operario de pallets cerrados y dos operarios provenientes del equipo de picking.

Como consecuencia, mientras el despacho se encuentra activo, la capacidad disponible para el armado de pedidos se ve temporalmente reducida. El armado no se detiene por completo, pero se ejecuta con una dotación menor, produciéndose un retraso relativo respecto de una situación de plena disponibilidad de recursos.

Por lo tanto, la jornada se divide conceptualmente en dos estados: un período sin despacho activo, durante el cual el armado opera con su capacidad normal; un período con despacho activo, durante el cual el armado continúa operando, pero con capacidad reducida.

## **D.4. Modelado del proceso de armado de pedidos**

El tiempo requerido para el armado de pedidos se obtiene a partir de las distribuciones empíricas de tiempo de armado por tamaño de camión desarrolladas en la Sección 3.3.

Para cada camión generado, el modelo extrae un tiempo de armado de la distribución correspondiente a su cantidad de pallets, representando la variabilidad asociada a la estructura de los pedidos y al proceso de picking.

El armado se modela como un proceso continuo que se ejecuta parcialmente en paralelo con el despacho, sin vincular pedidos individuales con camiones específicos, dado que el análisis se centra en los tiempos totales diarios.

#### **D.5. Modelado del proceso de despacho**

Para cada camión, el tiempo requerido para el despacho se estima a partir de una tasa promedio de servicio, expresada en pallets por unidad de tiempo, y de la cantidad total de pallets a cargar.

#### **D.6. Capacidad efectiva diaria de armado y calibración**

La fracción de la jornada efectiva durante la cual el despacho se encuentra activo se denota como  $f_{desp}$ , y se estima a partir de la carga diaria de despacho y de la dotación disponible. Este valor representa el grado de interferencia del despacho sobre el proceso de armado.

Durante los períodos con despacho activo, la capacidad relativa de armado se representa mediante un factor  $A$ , con  $0 < A < 1$ , que expresa la fracción de la capacidad normal que permanece disponible. Este factor se estima a partir del mix real de trabajo entre armado con picking y armado de pallets cerrados, y de la observación de que, durante el despacho, el flujo de pallets cerrados tiende a detenerse mientras que el picking continúa con dotación reducida.

De este modo, la capacidad efectiva diaria de armado se calcula como un promedio ponderado por tiempo, considerando la fracción del día sin despacho y la fracción del día con despacho activo:

$$Capacidad\ efectiva = Capacidad\ base \times [1 - f_{desp} \times (1 - A)]$$

donde  $f_{desp} \times (1 - A)$  representa la fracción de capacidad diaria perdida por interferencia del despacho.

Adicionalmente, a la capacidad diaria del depósito se le aplica una reducción compuesta de actividades e incidentes no modelados explícitamente, tales como recepción, reorganización interna, pérdidas menores e incidentes.

Esta reducción se incorpora como una merma fija promedio de la capacidad diaria, y su valor se ajusta durante la calibración del modelo de modo de reproducir el promedio histórico de horas extra observadas.

#### **D.7. Determinación del tiempo total diario**

El tiempo total requerido por el sistema en una jornada se define como el mayor entre el tiempo total de armado y el tiempo total de despacho:

$$T_{\text{día}} = \max(T_{\text{armado}}, T_{\text{despacho}})$$

Con el efecto del despacho sobre el armado ya reflejado previamente en el cálculo de  $T_{\text{armado}}$ , a través de la reducción de la capacidad efectiva diaria del armado durante los períodos con despacho activo.

#### **D.8. Cálculo de horas extra**

La jornada se considera finalizada cuando no quedan procesos activos en el sistema. Las horas extra diarias se calculan como el excedente del tiempo total requerido respecto del horario de cierre:

$$HE = \max(0, T_{\text{día}} - T_{\text{jornada}})$$

donde  $T_{\text{jornada}}$  son las horas de jornada normal, en este caso 8.

### **Anexo E: Técnicas de apilado observadas**

En el cuerpo del informe se describió la técnica de apilado más frecuente observada durante el armado de pedidos con picking, por ser la que representa el modo habitual de trabajo y la base sobre la cual se desarrolló el estudio de tiempos.

En adición a dicha técnica, durante el relevamiento de campo se identificaron otras maneras de apilado que aparecen de manera ocasional o puntual, en función de las condiciones operativas y de la disponibilidad de personal. Las técnicas se describen de manera sintética y se clasifican según su frecuencia de aparición.

Técnica frecuente: corresponde a un esquema de trabajo con dos operarios. Ambos extraen cajas del pallet de origen y las colocan directamente sobre el pallet en armado, acomodándolas a medida que avanza el apilado. Esta técnica se caracteriza por un flujo continuo de colocación de cajas y es la que predomina durante la mayor parte de la operación diaria.

Técnica ocasional: consiste en un esquema tipo pasamanos con tres operarios. Se utiliza cuando existen obstáculos que impiden aproximar el pallet en armado al pallet de origen. En este caso, un primer operario extrae la caja del pallet de origen y la transfiere a un segundo operario ubicado en una posición intermedia, quien a su vez la pasa a un tercer operario encargado de colocarla en el pallet en armado.

Técnica rara: se trata de un pasamanos de dos operarios. Un operario extrae las cajas del pallet de origen y las transfiere directamente a un segundo operario, quien realiza el apilado sobre el pallet en armado. Esta modalidad se presenta en situaciones puntuales y no constituye el modo habitual de trabajo.

Técnica muy rara: consiste en el apilado realizado por un único operario. Esta situación se observa únicamente de forma transitoria, cuando uno de los dos operarios habituales debe ausentarse momentáneamente del puesto para realizar otra tarea, como reposición de pallets, atención de requerimientos operativos o pausas breves.