

Proyecto pasantía
“Eficientizar esquema de producción de operadores en centro de
distribución”

Grupo MK

Área: Operaciones

Supervisor: Felipe Santander

Paulina Oliva Cornejo

20.487.206-6

Paoliva@alumnos.uai.cl

Ingeniería civil industrial

Santiago, Chile

2023

Índice

Proyecto pasantía	1
Índice.....	2
Resumen ejecutivo.....	3
Abstract.....	4
Introducción.....	5
Objetivos	9
Estado del arte	10
Propuestas de solución	13
Análisis de riesgo.....	14
Evaluación económica.....	16
Metodología.....	17
Medidas de desempeño.....	18
Desarrollo del proyecto	19
Resultados.....	28
Conclusiones	30
Bibliografía	31
Anexos.....	32

Resumen ejecutivo

En el presente informe, se aborda una problemática detectada en la productividad de los operadores de grúa que realizan la actividad de picking en el área de rack en el centro de distribución de la empresa MK. Esta problemática surge a raíz de la dificultad de los operadores para alcanzar el bono de productividad estipulado. El objetivo general consiste en aumentar la productividad de los “pickeadores” en un 10% a su productividad actual, mediante objetivos específicos como aumentar la cantidad de líneas efectuadas por hora, reducción del tiempo promedio de ejecución de una tarea y la disminución de los tiempos improductivos durante el proceso de picking.

Se llevó a cabo un análisis del estado del arte para comprender cómo la industria afronta el problema de incrementar la productividad, identificando elementos clave como el diseño de layout, asignación de almacenamiento, zonificación y enrutamiento. Lo que condujo a la formulación de cuatro propuestas de solución: optimización de rutas, evaluación de clasificación de productos, reestructuración de layout y aplicación de un algoritmo de zonificación. La solución seleccionada fue la reestructuración del layout, respaldada por una evaluación detallada de sus ventajas y desventajas, así como una matriz de evaluación. La implementación se llevó a cabo mediante la metodología de lean manufacturing.

Durante el desarrollo de la propuesta de solución, se llevó a cabo un mapeo detallado de la operación del picking, seguido de un análisis exhaustivo de la situación actual, desde el punto de vista visual y el punto de vista histórico. Posteriormente, se diseñó la propuesta del nuevo layout.

Los resultados obtenidos demuestran el logro del objetivo general por medio de los objetivos específicos. Se observaron mejoras significativas en la productividad, la satisfacción laboral y la satisfacción del cliente.

Abstract

The present report addresses an issue identified in the productivity of crane operators performing picking activities in the rack area at the MK company's distribution center. This issue arises from the operators' difficulty in achieving the stipulated productivity bonus. The general objective is to increase the productivity of the "pickers" by 10% compared to their current productivity. This will be achieved through specific goals such as increasing the number of lines completed per hour, reducing the average execution time of a task, and decreasing unproductive times during the picking process.

An analysis of the state of the art was conducted to understand how the industry tackles the problem of increasing productivity, identifying key elements such as layout design, storage allocation, zoning, and routing. This led to the formulation of four solution proposals: route optimization, product sorting evaluation, layout restructuring, and the application of a zoning algorithm. The selected solution was the restructuring of the layout, supported by a detailed evaluation of its advantages and disadvantages, as well as an assessment matrix. The implementation was carried out using lean manufacturing methodology.

During the development of the solution proposal, a detailed mapping of the picking operation was conducted, followed by a thorough analysis of the current situation from both a visual and historical perspective. Subsequently, the proposal for the new layout was designed.

The results obtained demonstrate the achievement of the general objective through specific objectives. Significant improvements were observed in productivity, job satisfaction, and customer satisfaction.

Introducción

Contexto

Grupo MK es una empresa familiar con más de 20 años de experiencia conformada por MK, MK outlet y KLP, una compañía líder en la industria de la construcción. Enfocada en el mercado del diseño y la decoración, centrándose en la importación y venta de productos para el mejoramiento del hogar a nivel nacional.

En un mercado altamente competitivo, MK, se caracteriza por su extensa gama de productos con más de 10.000 SKU, los cuales son seccionados por el área de pisos, baños, cocina, muebles de aseo y exterior. Con la diversidad y excelencia de sus productos se puede ver que la empresa cumple con su continua innovación en diseño como tecnología.

Además, la empresa logra liderar el mercado nacional tras su expansión en Antofagasta, La Serena, Viña del Mar, Rancagua, Talca, Concepción, Temuco, Osorno y Puerto Montt; Permitiendo abarcar a cuatro tipos de clientes como el retail (cliente directo), proyectos (inmobiliarias y constructoras), negocios (Easy, Sodimac, etc.) y canales digitales.

Contexto del problema

En el entorno actual de producción existen diversas áreas que desempeñan un rol fundamental en operaciones. Estas se componen por recepción, almacenamiento, preparación, despacho, retira, entre otras. En términos de funciones, existe un personal responsable por cada sección. De los cuales se compone por encargados, expedicionarios, operadores de grúa horquilla, operadores de grúa reach, operarios logísticos, operadores de WMS y de bodega.

Para que cada trabajador pueda tener conocimientos sobre su desarrollo profesional, se implementó un plan de carrera estructurado en tres niveles: novato, intermedio y avanzado. Para ascender de nivel, se determinaron dos periodos de aprobación con una duración de 12 meses. El primer periodo es de abril a marzo y en caso de no aprobar, el periodo de repechaje es de septiembre a agosto. En ambos casos deben contar con cumplimiento mínimo del 80%.

La trayectoria profesional se compone por 4 indicadores: servicio, inventario, área y productividad. El propósito del servicio es un indicador general para toda la bodega, donde se mide el cumplimiento del

programa de carga, fechas de compromiso con el cliente y el número de devoluciones. Por otro lado, el inventario se encarga de cuantificar las diferencias de inventario y considerar la merma que se encuentra. El indicador de área se subdivide por los indicadores propios de cada área, que fueron mencionadas anteriormente. Finalmente, el bono de productividad mide el rendimiento de cada colaborador, dependiendo del cargo y área que permanezca.

Se determinó que el total del bono general equivale a \$151.000 mensual y cada indicador puede llegar a obtener los siguientes montos:

- a. Servicio: \$24.000
- b. Inventario: \$21.000
- c. Área: \$42.000
- d. Productividad: \$64.000

La siguiente tabla presenta la cantidad de trabajadores por área en la primera etapa del plan de carrera y el repechaje. Se dividió el plan de carrera con la cantidad de personas que cumplió sobre el 80% y la cantidad de personas que no pudo llegar a la meta. En paralelo, los respectivos porcentajes de aprobación y rechazo.

22-09 al 2023-08		Plan de carrera		Porcentaje	
Área	Total	80 % >	80 % <	80 % >	80 % <
Almacenamiento	20	12	8	60%	40%
Despacho	41	41	0	100%	0%
Devoluciones	7	7	0	100%	0%
Envío / retiro	4	4	0	100%	0%
Grifería	7	7	0	100%	0%
Logística inversa	3	3	0	100%	0%
Muestras	7	7	0	100%	0%
Preparación	53	35	18	66%	34%
Recepción	12	12	0	100%	0%
Recupero	5	5	0	100%	0%
Retira	10	10	0	100%	0%
Total	169	143	26		

Tabla 1: Resultados del periodo repechaje. Fuente: Elaboración propia.

Al realizar un análisis sobre las áreas que no obtuvieron el porcentaje esperado en el bono general, se infirió la siguiente información por área:

Área	Total por área	Cargo	Total	Plan de carrera		Porcentaje	
				80 % >	80 % <	80 % >	80 % <
Almacenamiento	20	Grúa horquilla	11	6	5	55%	45%
		Grúa reach	9	6	3	67%	33%
Preparación	40	Grúa horquilla	9	8	1	89%	11%
		Grúa reach	19	8	11	42%	58%
		Operario logístico	12	11	1	92%	8%

Tabla 2: Resultados en dos áreas. Fuente: Elaboración propia.

- a. Almacenamiento: Cuenta con un total de 20 operadores, distribuidos por 11 operadores de grúa horquilla y 9 operadores de grúa reach. Se identificó que 5 operadores de grúa horquilla y 3 operadores de grúa reach no obtuvieron el mínimo rendimiento. El resultado promedio de los rezagados en el bono general fue de un 74,8%. Desglosando en el indicador de servicio con un 96,2%, de brecha con un 101,7%, área de un 95,2% y en productividad con un 42,9%.
- b. Preparación: El equipo cuenta con 53 operadores, de los cuales 9 son operador de grúa horquilla, 19 personas de grúa reach, 2 operadores de WMS, 11 operarios de bodega y 12 operarios logísticos. Sin embargo, se observó que 11 operadores de grúa reach, 1 de grúa horquilla, 5 de bodega y 1 logístico no cumplieron con el requisito de tener el 80%. El promedio de los operadores rezagados en el bono general es de un 74,6%. El cual se compone con un promedio de servicio del 94,4%, el indicador de inventario con un 101,7%, el de área con un 89,7% y el de productividad con un 47,3%.

Se puede observar que las dos áreas mencionadas, obtienen un promedio de 45,1% de desempeño en el bono de productividad.

El indicador de productividad se mide por cada tarea que realiza el operador al mover un pallet y su lugar de destino. Por lo que, el indicador final de productividad mensual es la suma de todas las transacciones que realiza el operador.

Se analizó el perfil de los operadores que no cumplieron el plan de carrera, llegando a la conclusión que la tarea de picking en el área de rack es la más transcurrida mensualmente, los resultados fueron obtenidos de la base de datos en *anexo 1*. Obteniendo una productividad de 15 líneas por hora a diferencia de los operadores que cumplen el plan de carrera, obteniendo 18 líneas por hora.

Oportunidad identificada

Se identificó una oportunidad de mejora en relación con la productividad de los operadores. Para abordar este asunto, se utilizó el siguiente diagrama de causa y efecto, con el objetivo de identificar las raíces que radican al problema.



Ilustración 1: Diagrama de causa – efecto. Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, se identificó la escasez de tiempo por parte del departamento de operaciones. La evaluación del proceso de los operadores demanda tiempo si se quiere realizar de manera óptima. Esta tarea implica examinar el proceso, recopilar e interpretar los datos obtenidos y finalmente, implementar mejoras significativas. No obstante, el área de operaciones prioriza otros proyectos debido a una implementación efectuada anteriormente de un plan de mejora.

En segundo lugar, al realizar el análisis de los operadores que no cumplieron el plan de carrera por medio de una base de datos, se observó que los tiempos de actividad superan en promedio 3 minutos en comparación con aquellos que cumplían con el plan de carrera.

En tercer lugar, el área de operaciones no ha establecido una meta o un cumplimiento mínimo por operador para que pueda obtener el bono de productividad, si no, solo ha sido establecido un monto máximo monetariamente. Consecuencia, los operadores carecen de derecho a reclamar una asignación de tareas, ya que queda a criterio del supervisor.

En cuarto lugar, se implementó un plan de mejora con el objetivo de aumentar la productividad de los operadores mediante un layout. Aunque esta medida fue implementada, nunca se ha llevado a cabo una supervisión para verificar si alcanzó el objetivo establecido.

Las causas identificadas en el diagrama se centran en aspectos relacionados con la gestión de productividad y los operadores; Brindando una oportunidad de mejora al realizar un seguimiento de la última oportunidad de mejora implementada y examinar su relación con los tiempos improductivos en el área de rack.

Objetivos

Objetivo general

En un plazo de 2 meses, aumentar un 10% la productividad mensual de los operadores de grúa que no cumplieron el plan de carrera por medio de una actualización enfocada en la operación de picking.

Objetivos específicos

- a. Aumentar la cantidad de líneas por hora de cada operador.
- b. Disminuir el tiempo promedio por tarea.
- c. Disminuir los tiempos improductivos en el proceso del picking.

Estado del arte

Ante la problemática identificada, se evidencia una oportunidad de mejora en la eficiencia y productividad de los operadores de grúas. Debido a que otras industrias han enfrentado desafíos similares, se realizó una búsqueda en la literatura con el fin de examinar las estrategias y soluciones implementadas.

El objetivo de diseñar un sistema de productividad para preparadores de pedidos es maximizar el nivel de servicio con sus restricciones como el capital, mano de obra, grúas, máquinas, etc. *Goetschalckx y Ashayeri (1989)* establecen que para cuantificar el nivel de servicio debe ser por medio del promedio y variación de tiempo de entrega, precisión y totalidad del pedido. Con el fin de que la entrega sea lo más rápido posible, sin errores y sin mermas en el producto, determinando que minimizar el tiempo de preparación es una prioridad. Sin embargo, según lo indicado por *De Koster, Le-Duc, Roodbergen (2007)* existen múltiples objetivos que se tienen en cuenta en el diseño y optimización del almacén como: minimizar duración promedio de un recorrido, minimizar distancia total de un viaje, minimizar costo total, minimizar tiempo y tiempo total de procesamiento, maximizar uso del espacio, maximizar uso del equipo, maximizar uso de mano de obra, maximizar accesibilidad a todos los elementos. Además, para tomar decisiones sobre el diseño y control de la preparación a nivel táctico y operativo con distintos horizontes temporales, como menciona *Rouwenhorst y otros (2000)* son el diseño de distribución y dimensiones del sistema de almacenamiento, asignación de ubicaciones, asignación de órdenes para recoger SKU y agrupar pasillos en áreas de trabajo, enrutamiento de preparador, clasificación y agrupación de unidades seleccionadas por pedido. De acuerdo con la literatura, a causa de todas las variables de decisión es inviable incluir todas en un mismo modelo. Por lo que se asumen o no se consideran variaciones.

Para optimizar un sistema de pedidos en un centro de distribución, se llevó a cabo una revisión de la literatura sobre los siguientes tópicos:

1. Layout: El término se refiere a la distribución de un almacén. Sus objetivos son optimizar el uso de superficie en el almacén, eliminar las actividades que no añadan valor, lograr un índice de rotación rentable para la empresa, facilitar el acceso a los productos y mejorar el flujo de operaciones en su área respectiva. ¹
2. Asignación de almacenamiento: Puesto que el fin del centro de distribución es almacenar SKU, se encontraron cinco métodos de almacenamiento.

- a. Almacenamiento aleatorio: Los productos son asignados a ubicaciones disponibles sin un patrón definido ni específico. Este método debe ser gestionado por un sistema computarizado.
 - b. Almacenamiento con ubicación abierta: Cuando el almacenamiento es gestionado por una persona, se denomina almacenamiento con ubicación abierta más cercana, puesto que, los colaboradores asignaran la posición al lugar más cercano.
 - c. Almacenamiento dedicado: Se basa en determinar una ubicación específica a cada SKU, esto facilita la localización de productos, puesto que cada artículo cuenta con una ubicación constante.
 - d. Almacenamiento de rotación total, se enfoca en la distribución de productos en función de su demanda. A medida que un SKU obtenga una mayor demanda, equivale a su posición en el centro, debe estar más cerca del área de preparación. En la investigación de *Heskett (1963)* su fin es minimizar el tiempo y distancia de recolección.
 - e. Almacenamiento basado en clases: Como menciona *Duque, Cuellar y Cogollo (2020)* los SKU se agrupan en clases específicas como el nivel de rotación en inventario. Cada clase es asignada a un área del almacén y dentro de esta, se guardan de manera aleatoria. Además, *Yang (1988)* y *Van den Berg y Gademann (2000)* determinan basándose en estudios que los sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación, se recomienda asignar 6 tipos de clases.
3. Zonificación: Tiene como fin, optimizar la operación logística y el flujo dentro del almacén. *Orador (1975)* y *De Koster (1994)* modela un sistema de recolección y paso zonificado como red de colas de Jackson, permitiendo una estimación rápida sobre los tiempos de realizar un pedido y el trabajo de procesamiento promedio. Por otro lado, *Petersen (2002)* demostró que, debido a las variables del número de pasillos por área, longitud de pasillos, cantidad de artículos en lista de selección y política de almacenamiento, son factores que dependen significativamente en la distancia de promedio de viaje dentro del lugar. Otro punto de vista es desde *Brynzér y Johansson (1995)*, realizando un estudio donde identificaron que la carga de trabajo debe distribuirse equitativamente sobre los preparadores en los pedidos.
 4. Enrutamiento: Se utiliza para determinar secuencias para la selección de artículos en una lista, con el fin disminuir el tiempo, distancia y garantizar eficiencia en la recolección de productos a lo largo de una ruta. Para comprender mejor este enfoque, *Duque, Cuellar y Cogollo (2020)* nos

presentan el problema del viajero asimilándolo a los preparadores en pedidos. Este problema trata de una persona que comienza en su ciudad, debe visitar varios lugares y luego regresar a casa. Se conocen las distancias entre cada ciudad, sin embargo, se quiere determinar el orden de ciudades con el menor recorrido posible. Para poder resolver el problema de enrutar a los preparadores de pedidos, debe ser mediante el uso de heurísticas debido a que presenta desafíos específicos: primero, no existe un algoritmo universal que funcione para todos los diseños de almacén, ya que cuentan con múltiples variables. Segundo, las rutas óptimas pueden parecer ilógicas debido a que se optimizan teniendo en cuenta criterios específicos, como la minimización de distancia recorrida y obteniendo, como resultado, rutas que no siguen un patrón intuitivo. En tercer lugar, es posible que la congestión de pasillos no se tenga en cuenta al optimizar las rutas, lo que podría resultar en una subutilización de algunas áreas. Enfocándose en los almacenes de bloques múltiples, *Vaughan y Petersen (1999)* y *Roodbergen y De Koster (2001)* realizaron la comparación con los 6 métodos presentados en la figura:

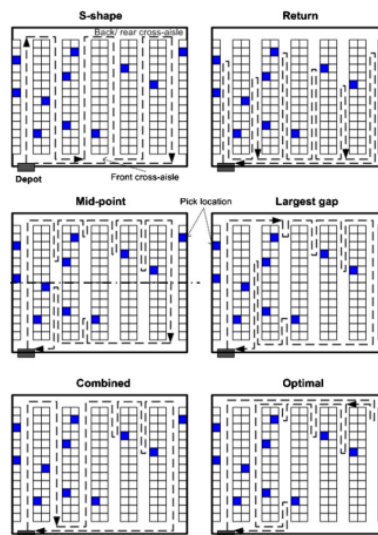


Ilustración 2: Example of a number of routing methods for a single - block warehouse (Roodbergen, 2001)

Donde se realizó un análisis de 80 almacenes con un número de 7 a 15 pasillos, 2 y 11 pasillos transversales, tamaño de lista entre 10 y 30. Resultando que el total combinado cuenta con los mejores resultados en 74 de los 80 casos que se analizaron.

Propuestas de solución

A partir de un análisis exhaustivo de la literatura y la información disponible, se formularon las siguientes propuestas de solución para mejorar la productividad:

1. Optimización de rutas: Se propone la formulación y desarrollo de un modelo matemático con el fin de representar las labores ejecutadas por un operador. Con el objetivo de encontrar rutas óptimas para los operadores.
2. Reevaluación de clasificación de productos: Se sugiere la actualización de la clasificación de SKU basada en la categorización de 6 tipos de clases. Cada SKU se asignaría una categoría específica en función de su nivel de demanda.
3. Reestructuración de layout: El objetivo del layout actual se diseñó con el fin de minimizar las distancias recorridas. Sin embargo, con la nueva propuesta se quiere complementar con la minimización de tiempos de desplazamiento.
4. Algoritmo de zonificación: A través de un algoritmo con reglas y criterios específicos, se busca asignar productos a las distintas áreas en el centro de distribución.

Propuestas	Ventajas	Desventajas
Optimización de rutas	<ul style="list-style-type: none"> Mejora en la eficacia operativa; mediante una representación detallada de las labores del operador 	<ul style="list-style-type: none"> La complejidad de la representación de un modelo aumenta debido a las variables dinámicas, pudiendo complicar la formulación del modelo
Reevaluación clasificación de productos	<ul style="list-style-type: none"> Mejora en gestión de inventario; la actualización de la clasificación basada en la demanda conlleva una gestión eficiente en niveles de inventario. 	<ul style="list-style-type: none"> Necesidad de ajuste constante; la clasificación debe modificarse según los cambios en la demanda y las dinámicas en el mercado Resistencia al cambio; la implementación de una nueva clasificación puede encontrar resistencia por parte del personal.
Reestructuración del layout	<ul style="list-style-type: none"> Mejora la eficiencia y productividad del operador al considerar ambas métricas. 	<ul style="list-style-type: none"> La transición del nuevo layout requiere una adaptación de nuevas rutas para el operador.
Algoritmo de zonificación	<ul style="list-style-type: none"> Mejora en la utilización del espacio mediante la asignación eficiente de productos a áreas específicas, mejorando la eficiencia en la utilización del espacio de almacenamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Necesidad de ajuste constante, dada la posibilidad de cambios en la demanda o en la distribución de productos que pueden requerir modificaciones frecuentes en el algoritmo.

Tabla 3: Esquema comparativo de propuestas de solución. Fuente: Elaboración propia.

Para seleccionar una solución se utilizó el criterio matriz de evaluación, con el fin de calificar las propuestas con una escala de 1 a 7. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Criterios de evaluación	Optimización de rutas	Reevaluación de clasificación	Reestructuración de layout	Algoritmo zonificación
Eficiencia operativa	5	4	6	5
Complejidad implementación	2	5	6	2
Adaptabilidad a cambios	5	2	2	4
Reducción de distancia	4	3	4	4
Impacto en tiempo de preparación	2	5	6	4
Tiempo de elaboración	2	4	4	2
Recursos adicionales	3	5	5	3
Aceptación del personal	4	4	4	4
Impacto en costos	4	4	4	4
Resultados	31	36	41	32

Tabla 4: Matriz de evaluación de propuestas de solución. Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos en la matriz de evaluación, se escogió la solución de reestructurar el layout. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis cualitativo con el personal de operaciones y se concluyó la misma solución obtenida en la matriz; Para fundamentar esta propuesta de solución, se consideró la experiencia previa con el primer diseño del layout, donde el personal mostró una aceptación favorable hacia el modelo.

Análisis de riesgo

Con el fin de evaluar con certeza la selección de la solución, se realizó un análisis de riesgo. Compuesta por la probabilidad de que ocurra un evento no deseado calificándose en una escala de 5 niveles. En cuanto al eje de consecuencia, fue clasificado de mínimo a máximo. Reflejando la gravedad de las posibles consecuencias que pueden surgir en caso de que ocurra un evento no deseado.

		Consecuencia				
		Mínima	Menor	Moderada	Mayor	Máxima
Probabilidad		1	2	4	8	16
Muy alta	5	5	10	20	40	80
Alta	4	4	8	16	32	64
Media	3	3	6	12	24	48
Baja	2	2	4	8	16	32
Muy baja	1	1	2	4	8	16

Nivel riesgo
Riesgo extremo
Riesgo alto
Riesgo tolerable
Riesgo aceptable

Tabla 5: Evaluación matriz de riesgo. Fuente: Elaboración propia.

Se determinaron los siguientes riesgos al aumentar la productividad en los operadores de grúa horquilla, reach y operarios logísticos:

1. Procesos de preparación y almacenamiento: La probabilidad de que ocurran cambios en el proceso de las áreas mencionadas es alto con un impacto mayor. Así, una forma de reducir este riesgo es analizar y revisar los procesos nuevos para identificar oportunidades de mejora.
2. Errores y precisión: La probabilidad de disminuir los tiempos de traslado para todos los operadores es media y la consecuencia es mayor, ya que existe un riesgo de que se comenten errores en la gestión de inventario y preparación de pedidos, resultando con entregas incorrectas o un aumento de merma, lo que provoca costos adicionales. Una manera de mitigar este riesgo es que los operadores confíen en la solución, puesto que no se busca que sean más rápidos.
3. Seguridad: Con la disminución de tiempo entre los operadores, la probabilidad de que la seguridad disminuya es media con una consecuencia media. Se puede provocar una aceleración en el trabajo, provocando accidentes y lesiones en el lugar de trabajo. Por lo que una manera de mitigar este resultado es implementar medidas preventivas de seguridad.
4. Coordinación ineficiente: La probabilidad de que la coordinación sea ineficiente es baja y con una consecuencia menor, ya que la falta de coordinación puede provocar cuellos de botella en las respectivas áreas. Una manera de mitigar esta situación es definir flujos de trabajo y responsabilidad.

Solución	Actividades	Probabilidad	Impacto	Riesgo
	Proceso de áreas respectivas	Alta	Mayor	Riesgo extremo
	Errores y precisión	Media	Mayor	Riesgo alto
	Seguridad	Media	Moderada	Riesgo tolerable
	Coordinación ineficiente	Baja	Menor	Riesgo aceptable

Tabla 6: Evaluación de riesgo proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Evaluación económica

Con el fin de proporcionar datos cuantitativos que respalden la solución propuesta, se ha desarrollado la siguiente evaluación económica:

Evaluación económica								
Periodos en meses	0	1	2	3	4	5	6	7
Inversión								
Desarrollo de implementación	\$ 1.250.000							
Total	\$ -1.250.000							
Costos								
Bono incentivo		\$ 1.280.000	\$ 1.280.000	\$ 1.280.000	\$ 1.280.000	\$ 1.280.000	\$ 1.280.000	\$ 1.280.000
Total		\$ -1.280.000	\$ -1.280.000	\$ -1.280.000	\$ -1.280.000	\$ -1.280.000	\$ -1.280.000	\$ -1.280.000
Ingresos								
Aumento de productividad grúa horquilla		\$ 428.235	\$ 428.235	\$ 428.235	\$ 428.235	\$ 428.235	\$ 428.235	\$ 428.235
Aumento de productividad grúa reach		\$ 1.257.255	\$ 1.257.255	\$ 1.257.255	\$ 1.257.255	\$ 1.257.255	\$ 1.257.255	\$ 1.257.255
Total		\$ 428.235	\$ 1.685.490	\$ 1.685.490	\$ 1.685.490	\$ 1.685.490	\$ 1.685.490	\$ 1.685.490
Total	\$ -1.250.000	\$ -851.765	\$ 405.490	\$ 405.490	\$ 405.490	\$ 405.490	\$ 405.490	\$ 405.490
ROI	3244%							
VAN	\$ 249.270							
TIR	4%							

Tabla 7: Evaluación económica de solución. Fuente: Elaboración propia.

Se estimó que el costo de desarrollo e implementación del proyecto se basa en la remuneración del practicante.

Los gastos relacionados con los operadores se vinculan al aumento esperado de la productividad al implementar la solución, lo que se espera que cada operador pueda llegar a los \$64.000 y se espera que 20 operadores (6 de grúa horquilla y 14 de grúa reach) puedan llegar a la cantidad estimada. La empresa actualmente arrienda la maquinaria por hora, por lo que un aumento en su uso no se ve afectado, ya que se sigue pagando el mismo precio que si no se utiliza.

Por otro lado, para evaluar el incremento de la productividad de los operadores, se realizó un cálculo del coste laboral por tarea. El sueldo base del operador de grúa horquilla es de \$606.677 y el reach es de \$763.333, ambos sueldos fueron divididos en 24 días y cada día laboral se compone de 6,25 horas de productividad. Cada hora es dividida en 17, representando el promedio de líneas realizadas. Resultado que el coste por tarea para la grúa horquilla es de \$238 y para la reach es de \$299.

Los operadores de grúa que no cumplieron el plan de carrera, se espera un aumento de dos líneas más por hora, obteniendo un aumento de 300 líneas por mes. Al calcular los ingresos, se multiplicó la cantidad de líneas por mes por el coste de la tarea, obteniendo un ingreso de \$71.373 por cada operador de grúa

horquilla y \$89.804 por grúa reach. Luego se multiplicó por la cantidad de operadores con sus respectivos cargos.

En un periodo de 7 meses, se obtuvo un VAN positivo, tasa de retorno de 4% y un retorno de la inversión de un 3244%. Por lo que el proyecto es rentable económicamente.

En caso de un escenario desfavorable, cuando no se obtiene un aumento en la productividad; no habría un aumento en el bono. Por lo que la VAN, TIR y ROI, resultarían con resultados negativos. Por lo que no es un caso proyecto rentable.

Metodología

Con el fin de establecer un marco metodológico enfocado en el principio de flujo continuo para eliminar interrupciones en el flujo de trabajo, se escogió la metodología Lean Manufacturing. Los pasos determinados para la implementación de esta metodología son los siguientes:

1. Mapeo de operación: Visualizar la operación de los operadores al realizar la tarea de picking, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora, cuellos de botella y/o actividades que no agreguen valor al proceso.
2. Análisis de la situación actual: Recopilar información actual de los operadores mediante un análisis visual en un periodo de dos semanas y un análisis histórico de la productividad de los operadores enfocado en la cantidad de movimientos que hay en el área de rack, con el fin de identificar áreas de oportunidad de mejora.
3. Diseño: Se desarrolla la propuesta de un nuevo layout.
4. Verificación y seguimiento: Los miembros del equipo deben validar si el proyecto se alinea a la realidad y recopilar la retroalimentación del personal.

Medidas de desempeño

1. Productividad mensual: Hace referencia al incremento de la productividad mensual mediante la ejecución de una propuesta de solución específica.

$$\text{Productividad mensual propuesta} \geq \text{Productividad mensual actual} * 1,1$$

2. Productividad diaria: Aborda la cantidad de líneas completadas por hora. Para un resultado óptimo, se espera que la cantidad de líneas propuestas por hora sea menor a la cantidad de líneas actuales.

$$\text{Líneas propuestas/hora} \geq \text{Líneas actuales/hora}$$

3. Promedio de tiempo por tarea: Alude al tiempo en promedio necesario para realizar una línea. El propósito es reducir el tiempo por tarea propuesto en comparación con el actual.

$$\text{Minutos por línea propuestos} \leq \text{Minutos por línea actual}$$

4. Tiempo de traslado: Apunta a la duración desde un punto a otro. Con el fin de que el tiempo de traslado esperado sea menor al tiempo de traslado actual.

$$\text{Tiempo traslado esperado} \leq \text{Tiempo traslado actual}$$

Desarrollo del proyecto

Mapeo del flujo:

Se seleccionó el proceso de preparación en el área de los racks, para identificar las áreas de oportunidad y mejorar la productividad en la tarea de picking. El diagrama de flujo que se presenta a continuación ilustra las etapas del picking:

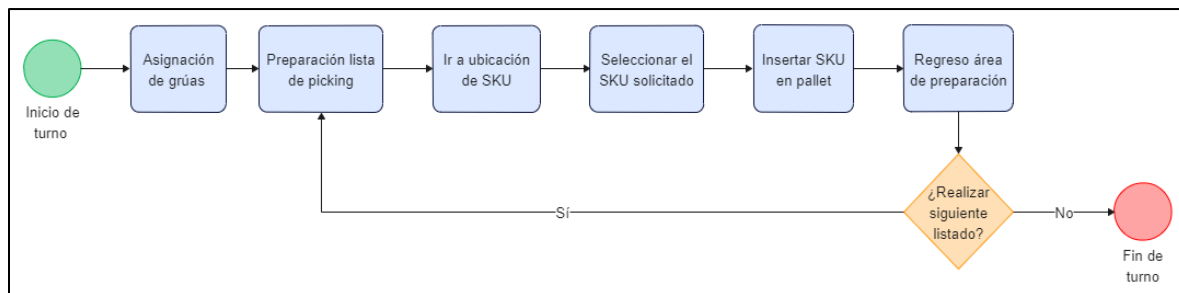


Ilustración 2: Diagrama de picking. Fuente: Elaboración propia.

Para un mayor detalle sobre el proceso de preparación, ver anexo 2.

Análisis de la situación actual:

Análisis visual de la operación: Se observó que los operadores que debían ir a buscar los SKU entre el rack 7 a 13, ubicados en el área más cercana a la preparación, provocaban cuellos de botella al ingresar a cada pasillo. La congestión se debe a que los productos con mayor rotación se almacenan en las ubicaciones más cercanas al área de preparación. Como consecuencia, varios operadores tienden a dirigirse simultáneamente a la misma zona del rack, obteniendo tiempos improductivos en la actividad de picking.

Para cuantificar el problema, se tomó una muestra todos los días durante dos semanas en el mes de septiembre, obteniendo un promedio de 36 segundos de espera para ir a buscar un SKU en los pasillos respectivos.

Análisis histórico de la operación: Se observó la de tareas de picking que se realiza en el área del rack. Cada área cuenta con una ubicación única que se compone de la siguiente manera: RS/ON/(A/B)/NN/NN; RS: siglas que indican que la ubicación está en el rack, ON: número de pasillo donde se encuentra la ubicación, A/B: parte izquierda o derecha del rack, NN: número de la ubicación en el primer piso, NN:

número de piso de la ubicación; por ejemplo: RS04B5301 es una ubicación en el rack en pasillo 4, lado B, en la ubicación número 53 en el primer piso.

El área del rack cuenta con 19 estanterías y cada una de ellas cuenta con 120 ubicaciones en el primer piso, con el fin de tener un análisis global del área, fue agrupada en 8 divisiones. La división 1 se compone de las ubicaciones 01 a 07, división 2 de 08 a 15, división 3 de 16 a 23, división 4 de 24 a 30, división 5 de 31 a 38, división 6 de 39 a 45, división 7 de 46 a 54, división 8 de 55 a 60. Con las clasificaciones armadas, se realizó un análisis sobre las divisiones con mayor rotación en cada pasillo de los periodos de junio, julio, agosto, septiembre y octubre, bases utilizadas del anexo 1. Obteniendo los siguientes resultados:

Porcentaje historico	Division 1	Division 2	Division 3	Division 4	Division 5	Division 6	Division 7	Division 8
2	43%	14%	19%	3%	9%	6%	3%	2%
3	39%	15%	19%	6%	7%	7%	4%	3%
4	42%	30%	8%	2%	6%	4%	6%	2%
5	25%	18%	24%	16%	4%	6%	5%	3%
6	52%	17%	9%	5%	9%	4%	2%	2%
7	11%	25%	31%	8%	17%	5%	3%	0%
8	32%	23%	17%	10%	6%	6%	6%	1%
9	34%	14%	8%	3%	12%	13%	11%	4%
10	23%	12%	19%	4%	12%	16%	12%	1%
11	17%	21%	17%	6%	12%	12%	8%	5%
12	22%	26%	14%	6%	6%	5%	19%	1%
13	22%	37%	25%	3%	3%	3%	5%	1%
14	18%	11%	13%	4%	18%	19%	16%	2%
15	26%	10%	16%	3%	8%	21%	14%	1%
16	21%	18%	15%	13%	11%	14%	5%	3%
17	13%	19%	13%	8%	12%	15%	15%	6%
18	21%	18%	17%	3%	5%	13%	16%	6%
19	0%	21%	56%	18%	5%	0%	0%	0%

Tabla 8: Rotación por cada pasillo. Fuente: Elaboración propia.

Donde las áreas verdes representan a las dos divisiones con mayor rotación por cada pasillo.

Por consiguiente, se realizó un análisis sobre los porcentajes que tienen mayor rotación de tareas por cada división. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Porcentaje histórico	División 1	División 2	División 3	División 4	División 5	División 6	División 7	División 8
2	4%	2%	4%	1%	2%	2%	1%	4%
3	5%	3%	5%	1%	2%	3%	2%	6%
4	8%	7%	3%	1%	2%	2%	4%	5%
5	4%	4%	7%	5%	1%	3%	3%	7%
6	10%	4%	3%	2%	3%	2%	2%	7%
7	14%	26%	18%	64%	51%	17%	12%	3%
8	20%	18%	20%	11%	7%	10%	12%	7%
9	7%	4%	3%	1%	4%	8%	9%	12%
10	5%	3%	4%	2%	7%	10%	9%	4%
11	3%	3%	3%	2%	6%	6%	4%	11%
12	4%	6%	5%	2%	2%	3%	12%	5%
13	4%	9%	9%	1%	1%	2%	3%	4%
14	3%	3%	4%	1%	6%	11%	10%	5%
15	4%	2%	5%	1%	2%	10%	8%	3%
16	4%	4%	5%	4%	3%	7%	3%	8%
17	1%	2%	2%	1%	1%	3%	4%	7%
18	1%	1%	1%	0%	0%	1%	2%	3%
19	0%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%

Tabla 9: Rotación por división. Fuente: Elaboración propia.

Percatándose que los racks que cuentan con una mayor rotación se encuentran entre el 6 y el 13.

El análisis visual de la operación y el análisis histórico de la base de datos identificaron una oportunidad de mejora en la productividad de los “pickeadores” en el área del rack, siendo el cuello de botella que se genera entre el pasillo 6 y 13 debido a la concentración del porcentaje de rotación de SKU en las divisiones 1,2 y 3, teniendo una duración de 36 segundos por operador.

Actualmente, el layout está estructurado de modo que los pasillos centrales frente a las puertas de preparación tengan la mayor rotación de SKU. Como se presenta a continuación:

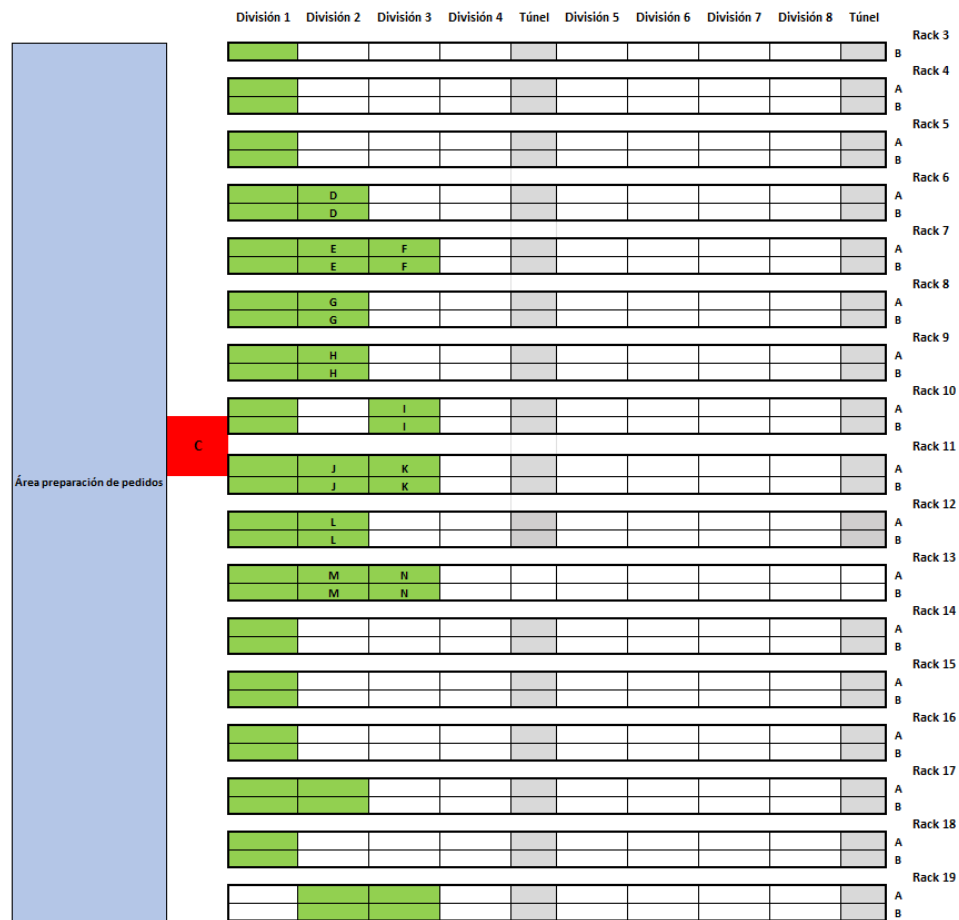


Ilustración 3: Layout actual. Fuente: Elaboración propia.

En la figura número 3, se determinó el punto A como punto de congestión. El área gris, representa los túneles en el rack. El área verde como los puntos con mayor rotación y los verdes con letras, indican las segundas divisiones con mayor rotación.

Plan de mejora:

El objetivo del layout actual se basa en el principio de minimizar las distancias recorridas, a medida que el operador recorra una menor distancia entre las puertas de preparación y el lugar de ubicación del SKU, mayor es su productividad. Sin embargo, al implementarlo se generó un cuello de botella de 36 segundos aproximadamente, por lo que, el layout actual cumple el objetivo de disminuir la distancia recorrida, no obstante, no minimiza el tiempo de recorrido.

Para determinar el nuevo layout. Se utilizan los siguientes supuestos:

1. Movimientos rectilíneos.
2. Cada SKU se encuentra en una caja de 1 x 1,2 x 1 metros de alto.
3. La grúa solo puede transitar por un pasillo y no se sobrecarga.
4. Dos grúas no pueden transitar en paralelo por un pasillo.

Además, se utilizaron los siguientes parámetros para determinar el tiempo de operación:

1. Ancho del rack A: 1,3 segundos.
2. Ancho del rack B: 1,3 segundos.
3. Largo del rack: 37 segundos.
4. Largo división: 4,625 segundos.
5. Ancho del pasillo: 1,68 segundos.
6. Ancho del túnel: 1,84 segundos.
7. Tiempo improductivo: 36 segundos.

Se utilizó el método de distancia rectilínea adaptado a unidad de tiempo, con el fin de determinar el tiempo total entre ubicaciones. Por lo que, se calculó el tiempo recorrido desde el punto C, que representa el lugar de recepción de pedidos, hasta sus letras respectivas lo que representa la ubicación donde se encuentra el SKU, más el tiempo improductivo, obteniendo los siguientes resultados:

Tiempos de layout actual							
Rack	Letra inicio	Letra final	Lado rack	Ancho rack	Ancho pasillo	División	Tiempo en segundos
7	C	D	B	9	4	2	63,7
		E	A	8	4	2	62,4
		F	A	8	4	3	67,0
8	C	E	B	7	3	2	59,4
		F	B	7	3	3	64,0
		G	A	6	3	2	58,1
9	C	G	B	5	2	2	55,1
		H	A	4	2	2	53,8
10	C	H	B	3	1	2	50,8
		I	A	2	1	3	54,2
11	C	I	B	1	0	3	51,2
		J	A	1	0	2	46,6
		K	A	1	0	3	51,2
12	C	J	B	2	1	2	49,5
		K	B	2	1	3	54,2
		L	A	3	1	2	50,8
13	C	L	B	4	2	2	53,8
		M	A	5	2	2	55,1
		N	A	5	2	3	59,7

Tabla 10: Tiempos de layout actual. Fuente: Elaboración propia.

Puesto que el área del rack cuenta con dos túneles y siguiendo el mismo principio de minimizar las distancias y tiempos recorridos sin provocar cuellos de botella. Se determinó que las ubicaciones con el segundo mayor índice de rotación se deben encontrar en las áreas cerca del túnel, con el fin de minimizar su distancia recorrida y minimizar el tiempo por tarea. Por lo que los nuevos puntos quedarían reflejados de la siguiente manera:

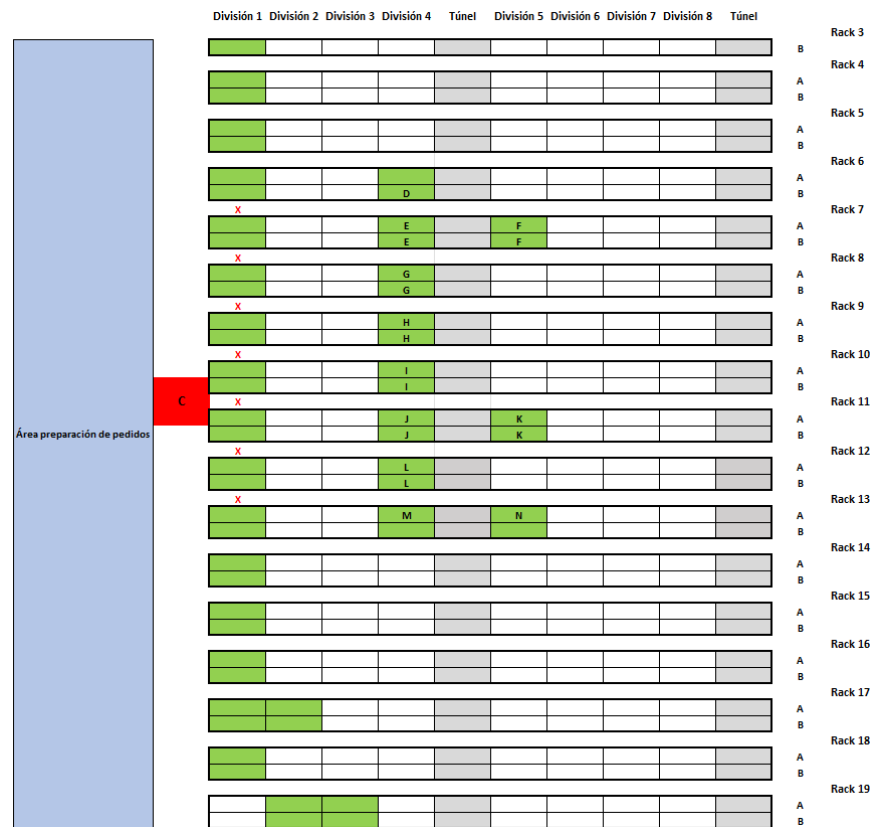


Ilustración 4: Propuesta de layout. Fuente: Elaboración propia.

Como fue mencionado anteriormente, entre los pasillos 7 a 13 se generan cuellos de botella en la división 1, lo cual fue representado por una x. Sin embargo, estos cuellos de botella no ocurren simultáneamente por lo que al calcular la ruta desde el punto c hasta su letra respectiva se asume que la ruta más optima se encuentra ocupada por lo que se calcula el tiempo en base a la segunda ruta con menor tiempo recorrido. Obteniendo los siguientes resultados:

Tiempos de layout esperados								
Rack	Letra inicio	Letra final	Lado rack	Ancho rack	Ancho pasillo	División	Túnel	Tiempo en segundos
7	C	D	B	9	4	5		41,5
		E	A	8	4	5		40,2
		F	A	8	4	5	1	42,1
8	C	E	B	7	3	5		37,3
		F	B	7	3	5	1	39,1
		G	A	6	3	5		36,0
9	C	G	B	5	2	5		33,0
		H	A	4	2	5		31,7
10	C	H	B	3	2	5		30,4
		I	A	4	2	5		31,7
11	C	I	B	4	2	5		31,7
		J	A	4	2	5		31,7
		K	A	4	2	5	1	33,5
12	C	J	B	2	2	5		29,1
		K	B	2	2	5	1	30,9
		L	A	3	2	5		30,4
13	C	L	B	4	2	5		31,7
		M	A	5	3	5		34,7
		N	A	5	3	5	1	36,5

Tabla 11: Tiempos esperados de layout propuesto. Fuente: Elaboración propia.

Por lo que se puede ver que hay una disminución en los tiempos de recorrido a pesar de que haya un aumento de distancia en el recorrido.

Se calculo la diferencia del tiempo actual con el tiempo esperado para comprobar si hubo una disminución en los tiempos de recorrido desde el punto C hasta su respectiva letra. Los resultados son los siguientes:

Resultados pre y post propuesta de solución						
Rack	Letra inicio	Letra final	Lado rack	Tiempo actual	Tiempo esperado	Diferencia de tiempos
7	C	D	B	63,7	41,5	22,1
		E	A	62,4	40,2	22,1
		F	A	67,0	42,1	24,9
8	C	E	B	59,4	37,3	22,1
		F	B	64,0	39,1	24,9
		G	A	58,1	36,0	22,1
9	C	G	B	55,1	33,0	22,1
		H	A	53,8	31,7	22,1
10	C	H	B	50,8	30,4	20,4
		I	A	54,2	31,7	22,5
11	C	I	B	51,2	31,7	19,5
		J	A	46,6	31,7	14,9
		K	A	51,2	33,5	17,7
12	C	J	B	49,5	29,1	20,4
		K	B	54,2	30,9	23,2
		L	A	50,8	30,4	20,4
13	C	L	B	53,8	31,7	22,1
		M	A	55,1	34,7	20,4
		N	A	59,7	36,5	23,2

Tabla 12: Resultados de pre y post solución de layout. Fuente: Elaboración propia.

En promedio se logra una reducción de 21,4 segundos por línea, lo cual fue obtenido por el promedio de la diferencia de tiempos. Por cada operador se lograría una reducción de 00:05:15 minutos por hora, 00:32:49 minutos por día y 13:07:30 horas por mes. Con el tiempo reducido, significa que el operador cuenta con 13 horas disponibles por mes. Lo que significa que ahora se tarda 0:3:38 minutos por tarea, aumentando su productividad a 17 líneas/hora. Obteniendo una productividad mensual de 2550 líneas.

Verificación y seguimiento

Se debe realizar un análisis mensual de la rotación de las divisiones con el fin de que los operadores no disminuyan su nivel de productividad.

Resultados

Con el fin de evaluar el impacto y la eficacia de la propuesta de solución. Se hizo un análisis de los resultados de forma cuantitativos y cualitativos:

Cuantitativo:

1. Productividad mensual: La medida de desempeño hace referencia al aumento de la productividad de los operadores. Se esperaba que la productividad tras implementar la solución propuesta aumente un 10%.

$$2550 \geq 2250 * 1,1$$

$$2550 \geq 2475$$

Por lo que aumentar la productividad en un 10% implicaba obtener, 2475 líneas por mes. Con la propuesta de solución, se puede llegar a obtener 2550 líneas por mes, lo que equivale a 75 líneas mensuales más de las esperadas.

2. Productividad diaria: Aborda la cantidad de líneas completadas por hora. Para un resultado óptimo, se espera que la cantidad de líneas propuestas por hora sea menor a la cantidad de líneas actual.

$$17 \text{ líneas/hora} \geq 15 \text{ líneas/hora}$$

Con la propuesta de solución, se puede observar que llega a realizar 2 líneas más de las que se realizan actualmente.

3. Promedio de tiempo por tarea: Alude al tiempo en promedio necesario para ejecutar una línea. El propósito es reducir el tiempo por tarea propuesto en comparación con el actual.

$$03:39 \text{ minutos por línea} \leq 04:00 \text{ minutos por línea}$$

Tras el análisis efectuado para mejorar la productividad, se hizo una reducción de 21,4 segundos por tarea. Por lo que el tiempo de tarea propuesto disminuye del tiempo de tarea actual.

4. Tiempo de traslado: Apunta a la duración desde un punto a otro. Con el fin de que el tiempo de traslado esperado sea menor al tiempo de traslado actual.

Tiempo actual		Tiempo esperado	¿Verdadero?
63,7	≥	41,5	VERDADERO
62,4	≥	40,2	VERDADERO
67,0	≥	42,1	VERDADERO
59,4	≥	37,3	VERDADERO
64,0	≥	39,1	VERDADERO
58,1	≥	36,0	VERDADERO
55,1	≥	33,0	VERDADERO
53,8	≥	31,7	VERDADERO
50,8	≥	30,4	VERDADERO
54,2	≥	31,7	VERDADERO
51,2	≥	31,7	VERDADERO
46,6	≥	31,7	VERDADERO
51,2	≥	33,5	VERDADERO
49,5	≥	29,1	VERDADERO
54,2	≥	30,9	VERDADERO
50,8	≥	30,4	VERDADERO
53,8	≥	31,7	VERDADERO
55,1	≥	34,7	VERDADERO
59,7	≥	36,5	VERDADERO

Tabla 15: Resultados medida de desempeño número 4. Fuente: Elaboración propia.

Se hizo una comparación de los tiempos actuales con los tiempos obtenidos con la nueva propuesta del layout. Se puede comprobar que independiente de que la grúa recorra una mayor distancia al buscar el producto solicitado, el tiempo de traslado es menor al tiempo total con el tiempo improductivo.

Cualitativos:

El incremento en la productividad de los operadores de picking tiene un impacto positivo en su bienestar integral. Este impacto se atribuye al aumento de la satisfacción laboral, ya que perciben con certeza que están contribuyendo de manera exitosa al rendimiento general de la empresa. Este fortalecimiento en la contribución laboral aumenta la autoestima de los operadores, quienes, al recibir elogios sobre su nivel de trabajo, hace que se sientan seguro de sus capacidades. Lo que conlleva, a un aumento en la motivación para seguir mejorando en sus habilidades y rendimiento laboral.

Además, el incremento en la productividad de individual de cada operador se asocia directamente con un aumento en su salario, gracias al bono de productividad. Esto no solo contribuye a una mejor calidad de vida al proporcionar una mayor estabilidad financiera, sino que también él brinda acceso a más recursos.

Desde el punto de vista de la empresa, al aumentar la productividad en la preparación de pedidos, contribuye significativamente en el largo plazo. Se asocia con la realización de entregas más rápidas y un servicio eficiente, lo que mejora la satisfacción del cliente. Este aumento en la satisfacción no solo atrae

a nuevos clientes, sino que también mejora la reputación general de la empresa. Además, fortalece la posición competitiva en el mercado al diferenciarse por la rapidez y calidad de los pedidos, generando un aumento en su valor percibido y destacándose entre la competencia.

Conclusiones

El proyecto de mejorar la productividad de los operadores que realizan la actividad de picking en el área de los racks del centro de distribución fue un éxito. Con la nueva propuesta de layout se logró aumentar la productividad de los operadores de grúa sobre un 10%, lo que se tradujo en una disminución del tiempo de operación en 21,4 segundos por tarea. Mediante la reducción del tiempo de operación y una optimización del flujo de trabajo eliminando un cuello de botella.

El aumento de la productividad tuvo repercusiones positivas tanto para los operadores como para la empresa en su totalidad. Para los trabajadores, representa una mejora significativa en la satisfacción laboral, autoestima y los ingresos salariales. En caso de la empresa, este logro se traduce como una mejora en la satisfacción del cliente, el fortalecimiento de reputación y una consolidación de su posición en el mercado.

Para mantener los beneficios obtenidos con el proyecto, es importante realizar un seguimiento continuo sobre la rotación en las divisiones respectivas para que no se vuelvan a generar cuellos de botella. Además, se debe tener en cuenta la seguridad de los operadores, ya que el aumento de la productividad conlleva un aumento en las maniobras, lo que puede causar accidentes.

Se debe tener en cuenta que existen factores que no fueron considerados al momento de diseñar el layout puesto que son casos especiales. Estos factores pueden afectar la productividad, por lo que es importante realizar ajustes al layout o a la operación directa según sea necesario.

Bibliografía

1. Ar racking, <https://www.ar-racking.com/cl/blog/disen-y-layout-de-la-bodega-claves-y-objetivos/>.
2. De Koster, R., Le-Duc, T. y Roodbergen, KJ (2007). Design and control oh warehouse order picking: a literatura review. *European Journal of Operational Research* 182 (2), 481-501.
3. Duque Jaramillo, Juan Camilo, Cuellar Molina, Manuela, & Cogollo Flórez, Juan Miguel. (2020). Slotting y picking: una revisión de metodologías y tendencias. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(3), 514-527.
4. E. A. ELSAYED & O. I. UNAL (1989) Order batching algorithms and travel-time estimation for automated storage/retrieval systems, *International Journal of Production Research*, 27:7, 1097-1114.
5. Goetschalckx, M., & Ashayeri, J. (1989). Classification and design of order picking systems. *Logistics World*, Vol. 2 No. 2, pp. 99-106.
6. Heskett, J.L. (1963) Cube-Per-Order Index: A Key to Warehouse Stock Location. *Transportation and Distribution Management*, 3, 27-31.
7. Mk, <https://www.mk.cl/>.
8. Petersen, C.G. (2002) Considerations in Order Picking Zone Configuration. *International Journal of Operations & Production Management*, 22, 793-805.
9. Roodbergen K.J., De Koster, R. (2001). Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle. *Eurepan Journal of operational research* 133 (2001).
10. Rouwenhorst, B.; Reuter, B.; Stockrahm, V.; van Houtum, G.J.; Mantel, R.J.; Zijm, W.H.M. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, vol. 122, no. 3, pp. 515-533.
11. Van den Berg, J. P. and Gademann, A. J. R. M ., 1999, Optimal routing in an automatedstorage/retrieval system with dedicated storage.
12. Vaughan, T. S., Petersen, C. G. (1999) "The effect of warehouse cross aisles on orderpicking efficiency," *International Journal of Production Research*, vol: 37, pp.881-897.
13. Yang, M.H., Analysis of optimization of class-based dedicated storage systems, Report, Material Handling Research Center,Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, 1988.

Anexos

1. Base de datos: se obtuvo la información para identificar la problemática y obtener la base de datos histórica para la implementación de propuesta de solución.

 Base de datos origen-destino	✓	20-11-2023 16:58	Hoja de cálculo d...	11.899 KB
 Julio 2023	✓	03-10-2023 14:22	Hoja de cálculo d...	197 KB
 Junio 2023	✓	28-08-2023 12:38	Hoja de cálculo d...	232 KB
 Mayo 2023	✓	30-08-2023 12:20	Hoja de cálculo d...	77 KB
 Resumen operadores	✓	01-12-2023 9:58	Hoja de cálculo d...	18.768 KB
 Resumen productividad	✓	08-09-2023 13:16	Hoja de cálculo d...	11 KB
 Rotacion analisis almacenamiento	✓	02-11-2023 14:01	Hoja de cálculo d...	55 KB
 Rotacion productividad agosto	✓	27-11-2023 13:53	Hoja de cálculo d...	47.209 KB
 Rotacion productividad Julio	✓	22-11-2023 22:56	Hoja de cálculo d...	54.562 KB
 Rotacion productividad Junio	✓	27-11-2023 16:12	Hoja de cálculo d...	44.779 KB
 Rotacion productividad octubre	✓	27-11-2023 13:57	Hoja de cálculo d...	62.321 KB
 Rotacion productividad septiembre	✓	29-11-2023 10:28	Hoja de cálculo d...	42.641 KB

2. Diagrama de procesos de preparación:

