

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Aumento de la Efectividad en la Preparación de Pedidos en un Centro
de Distribución de una Empresa de Retail”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Christian Xavier Dopico Morán

Francisco Xavier Guerra Jaime

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por ser mi soporte día a día durante toda la etapa de mi formación profesional.

A mi familia por el apoyo incondicional en todas las decisiones que he tomado en mi vida.

A los profesores por compartir su conocimiento, experiencias y consejos de formación personal.

Francisco Guerra J.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Dios,
mi familia, profesores y amigos.

Christian Dopico M.

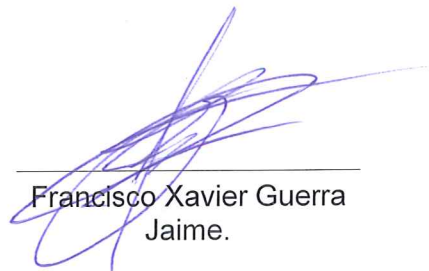
DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Christian Xavier Dopico Morán y Francisco Xavier Guerra Jaime damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Christian Xavier Dopico
Morán.

Autor 1



Francisco Xavier Guerra
Jaime.

Autor 2

EVALUADORES



Sofía López I. M.Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA



Isabel Alcívar G. M.Sc.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente Proyecto se realiza en el centro de distribución de una empresa de retail, cuyo objetivo es aumentar la productividad medida en bultos por hora-hombre en un 9.6%, para así, reducir costos de horas extras y consumo energético. Para resolver problema se utilizó la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), la cual, consiste en identificar causas raíces basadas en el análisis estadístico. Las soluciones se basaron en reducir el tiempo de la preparación de pedidos tomando en cuenta factores tales como: distancia de recorrido y tiempos no productivos. Con las mejoras se obtuvo un aumento de la productividad del 10.3% y se prototipó un modelo de asignación, basado en la programación entera con el objetivo de reducir la distancia recorrida, aumentando la productividad en un 35.6%. En conclusión, se cumple con el objetivo planteado, reduciendo costos de horas extras en \$35K y costos de energía eléctrica en \$2K.

Palabras clave: DMAIC, productividad, programación entera, centro de distribución.

ABSTRACT

This Project is carried out in the distribution center of a retail company, whose objective is to increase productivity measured in packages per hour-man by 9.6%, in order to reduce overtime costs and energy consumption. To solve problem, the DMAIC methodology (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) was used, which consists in identifying root causes based on statistical analysis. The solutions were based on reducing order preparation time by considering factors such as travel distance and non-productive times. The improvements led to a 10.3% increase in productivity and prototyping an allocation model, based on the entire programming with the aim of reducing the distance travelled, increasing productivity by 35.6%. In conclusion, the target is met, reducing overtime costs by \$35K and electric power costs by \$2K.

Keywords: *DMAIC, productivity, integer programming, distribution center.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.1.1 Alcance	3
1.1.2 Variable de Interés.....	5
1.1.3 Restricciones	7
1.2 Justificación del problema	8
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo General	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 Marco teórico.....	8
1.4.1 Six-Sigma	8
1.4.2 Definir	9
1.4.3 Medir.....	9
1.4.4 Analizar.....	9
1.4.5 Mejorar.....	9

1.4.6	Controlar	9
1.4.7	Picking	9
1.4.8	VOC	10
1.4.9	SIPOC.....	10
CAPÍTULO 2.....		11
2.	Metodología	11
2.1	Medición	11
2.1.1	Plan de Recolección de Datos.....	11
2.1.2	Validación de datos.....	12
2.1.3	Estratificación.....	12
2.1.4	Análisis de capacidad	15
2.1.5	Problema enfocado.....	15
2.2	Análisis	16
2.2.1	Diagrama causas-efecto	16
2.2.2	Priorización de causas.....	18
2.2.3	Matriz de Impacto y Control	22
2.2.4	Plan de verificación de causas.....	23
2.2.5	Verificación de causas	24
2.2.6	Determinación de causas raíces.....	31
2.3	Mejora	38
2.3.1	Lluvia de ideas soluciones	38
2.3.2	Selección de soluciones	39
2.3.3	Plan de implementación.....	40
2.3.4	Descripción de soluciones	42
2.4	Plan de control	50
CAPÍTULO 3.....		52

3.	Resultados y Análisis.....	52
3.1	Soluciones implementadas.....	52
3.2	Solución prototipada.....	53
3.3	Ahorro en horas extras.....	54
3.4	Ahorro en costo energético.....	54
CAPÍTULO 4.....		55
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	55
4.1	Conclusiones.....	55
4.2	Recomendaciones.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....		56

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
WMS	Warehouse Management System
PDT	Portable Data Terminal
SIPOC	Supplier, Input, Process, Output, Customer
VOC	Voice of Client
CTQ	Critical to Quality
CP	Process Capability
PP	Process Performance
ANOVA	Analysis of Variance
SKU	Stock Keeping Unit
UMD	Unidad Mínima de Despacho
KPI	Key Performance Indicator
PPL	Process Performance Index
CPL	Process Capability Index

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
#	Número
m	Metros
\$	Dólares estadounidenses
min	minutos
Ho	Hipótesis nula
H1	Hipótesis alterna
K	Miles

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Canal de distribución de la empresa.	2
Figura 1.2 Productividad del picking por hora.....	3
Figura 1.3 Macromapa de procesos del centro de distribución.	4
Figura 1.4 Diagrama SIPOC proceso de picking.	5
Figura 1.5 Pareto de frecuencia de necesidades del cliente.	6
Figura 1.6 Diagrama de indicadores críticos.	7
Figura 2.1 Diagrama de cajas-Datos proporcionados vs Datos recolectados.	12
Figura 2.2 Diagrama de cajas de productividad por día.	13
Figura 2.3 Diagrama de cajas de productividad por horas.	14
Figura 2.4 Pareto de diferencia de productividad por hora.	14
Figura 2.5 Diagrama de causa y efecto para baja productividad a las 9 y10.	16
Figura 2.6 Diagrama de causa y efecto para baja productividad a las 14 y15.	17
Figura 2.7 Diagrama de causa y efecto para baja productividad a las 17.	17
Figura 2.8 Pareto de priorización de causas problema enfocado 1.....	20
Figura 2.9 Pareto de priorización de causas problema enfocado 2.....	21
Figura 2.10 Pareto de priorización de causas problema enfocado 3.....	21
Figura 2.11 Productividad vs existencia de reposiciones durante recorridos.	25
Figura 2.12 Productividad vs cantidad de bultos.	26
Figura 2.13 Productividad por zona.....	26
Figura 2.14 Productividad vs cantidad de contenedores.	27
Figura 2.15 Productividad vs cantidad de tareas en zona C.	28
Figura 2.16 Productividad vs Distancia.	28
Figura 2.17 Productividad vs tiempo.	29
Figura 2.18 Productividad vs tiempo muerto.	30
Figura 2.19 Productividad vs distancia.	30
Figura 2.20 Descuadres de inventario.....	32
Figura 2.21 Mapa de calor para ABC de productos.....	33
Figura 2.22 Productividad por usuario.....	34
Figura 2.23 Resultado modelo de optimización.....	36

Figura 2.24 Layout pasillos 500.....	37
Figura 2.25 Layout de reabastecimiento.	38
Figura 2.26 Pantalla PDT-1.	42
Figura 2.27 Pantalla PDT-2.	43
Figura 2.28 Mapa de calor.....	44
Figura 2.29 Estándares de productividad por zona.	45
Figura 2.30 Gráfica de iteraciones.....	49
Figura 2.31 Mejora pasillos 500.....	50
Figura 3.1 Mejoras en productividad de picking por hora	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Plan de medición de variables.....	11
Tabla 2.2 Análisis de capacidad por horas.....	15
Tabla 2.3 Nivel de relación.....	18
Tabla 2.4 Nivel de frecuencia.....	18
Tabla 2.5 Matriz de priorización de causas del problema enfocado 1.....	19
Tabla 2.6 Matriz de priorización de causas del problema enfocado 2.....	19
Tabla 2.7 Matriz de priorización de causas del problema enfocado 3.....	20
Tabla 2.8 Matriz Impacto vs Control problema enfocado 1.....	22
Tabla 2.9 Matriz Impacto vs Control problema enfocado 2.....	22
Tabla 2.10 Matriz Impacto vs Control problema enfocado 3.....	23
Tabla 2.11 Plan de verificación de causas.....	23
Tabla 2.12 Análisis de causa raíz saldos ficticios.....	31
Tabla 2.13 Análisis de causa raíz recorridos con pocos bultos.....	32
Tabla 2.14 Análisis de causa raíz productos de alta rotación.....	33
Tabla 2.15 Análisis de causa raíz productividad.....	34
Tabla 2.16 Análisis de causa raíz asignación de contenedores.....	35
Tabla 2.17 Análisis de causa raíz pasillos.....	36
Tabla 2.18 Análisis de causa raíz sku's.....	37
Tabla 2.19 Lluvia de ideas soluciones por causa raíz.....	39
Tabla 2.20 Matriz Esfuerzo-Impacto de soluciones.....	40
Tabla 2.21 Plan de implementación.....	40
Tabla 2.22 Recorridos actuales vs Recorridos con mejora.....	44
Tabla 2.23 Contenedores por recorrido.....	46
Tabla 2.24 Pasillos por recorrido.....	46
Tabla 2.25 Resultados modelo de asignación.....	49
Tabla 2.26 Plan de control.....	50
Tabla 3.1 Mejora en horas de los problemas enfocados.....	53
Tabla 3.2 Análisis de capacidad en mejoras.....	53
Tabla 3.3 Modelo de asignación.....	53

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Productividad	7
Ecuación 2 Cantidad de tareas.....	47
Ecuación 3 Índices	47
Ecuación 4 Variables del modelo	47
Ecuación 5 Función Objetivo	48
Ecuación 6 Restricción Contenedores.....	48
Ecuación 7 Restricción recorridos	48
Ecuación 8 Variables Binarias	48

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades de picking dentro de una industria de retail incurren en costos significativos, por lo general entre el 45% y 75% del costo logístico total. El proceso de picking se compone de 4 fases: preparación, recorrido, extracción y asimilación. En la preparación, se generan las tareas asociadas a los pedidos, y todas las actividades relacionadas a la recolección de todos los elementos que se utilizan en el picking. La fase de recorrido corresponde a visitar las ubicaciones de todos los productos solicitados por los clientes, durante toda la jornada laboral. Durante la fase de extracción, se recolectan los productos solicitados por el cliente en cada ubicación visitada. Por último, la fase de asimilación se encarga del control, embalaje, acomodo de los productos del pedido, etiquetados y, en ciertas ocasiones, la elaboración del *packing list* del transportista. De todas las fases mencionadas la que representa la mayor carga laboral y el mayor porcentaje del costo total del picking es la fase de recorrido y la fase de extracción. Por lo tanto, hoy en día las empresas buscan automatizar estos procesos de manera que se reduzcan los costos del picking y en consecuencia los costos totales de la empresa.

Este proyecto busca aumentar la efectividad de la picking de productos que no necesitan ningún tipo de refrigeración (productos secos). Para ello, el proyecto se realizó en una empresa de retail ubicada en el cantón Lomas de Sargentillo. Esta empresa cuenta con dos centros de distribución, ubicados en Guayaquil y Quito; el primero, distribuye a 145 tiendas distribuidas en 64 ciudades; el segundo, distribuye a 76 tiendas distribuidas 26 ciudades respectivamente (ver Figura 1.1).

A través de la metodología DMAIC, este proyecto establece mejoras en el proceso de picking de manera que se generen las salidas esperadas en el proceso y se reduzcan los costos de la compañía.

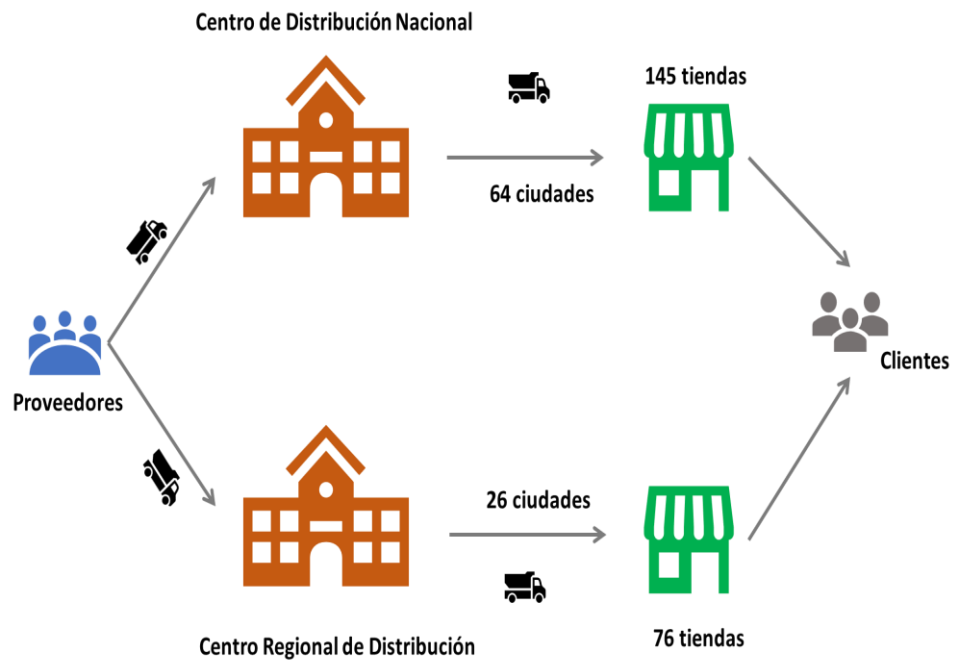


Figura 1.1 Canal de distribución de la empresa.
Dopico y Guerra, 2019.

1.1 Descripción del problema

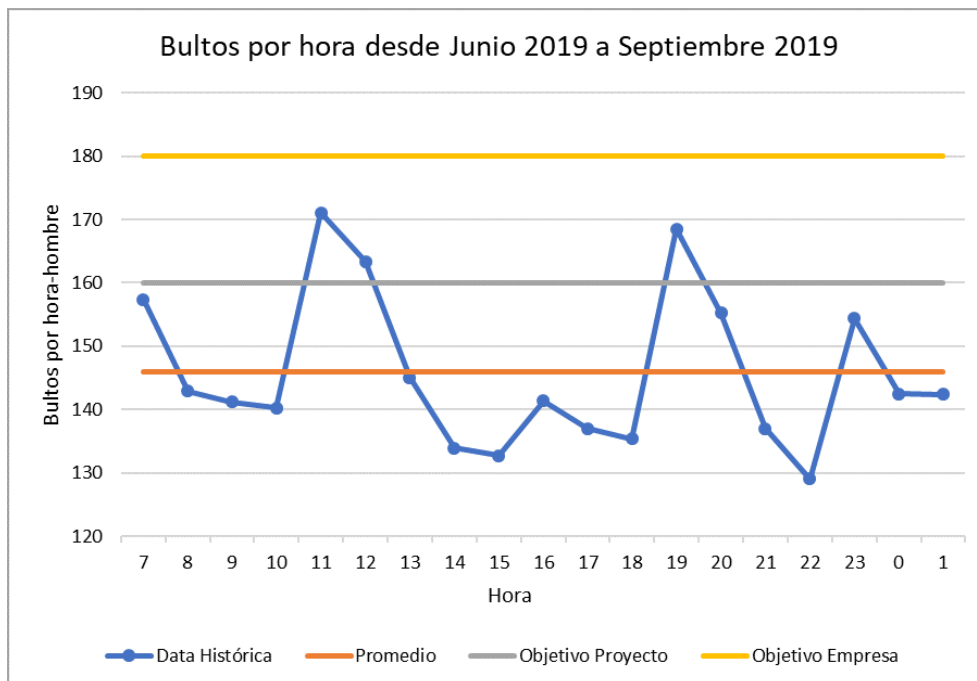
Actualmente, la empresa reporta retrasos en los despachos debido a pedidos que no se encuentran disponibles cuando son requeridos. Estos retrasos generan elevados costos de sobre tiempo a causa de la baja productividad en la preparación de pedidos. La empresa necesita mejorar la productividad de preparación de pedidos especialmente por sus planes de expansión.

En la figura 1.2 contrasta la productividad desde junio de 2019 a septiembre de 2019, medida en bultos por hora-hombre. Se observa que la productividad promedio es de 146 bultos por hora-hombre, el objetivo de la compañía es alcanzar una productividad de 180 bultos por hora-hombre y el objetivo del proyecto es aumentar a 160 bultos por hora-hombre.

La baja productividad representó un total de USD 35,904.46 en el período mencionado, por lo que el problema se definió como se muestra a continuación:

“La productividad en la preparación de pedidos en el centro de distribución nacional de una compañía de retail es de 146 bultos por hora-hombre desde junio

de 2019, mientras que el estándar de la compañía es incrementar por lo menos en 160 bultos por hora-hombre”.



**Figura 1.2 Productividad del picking por hora.
Dopico-Guerra, 2019.**

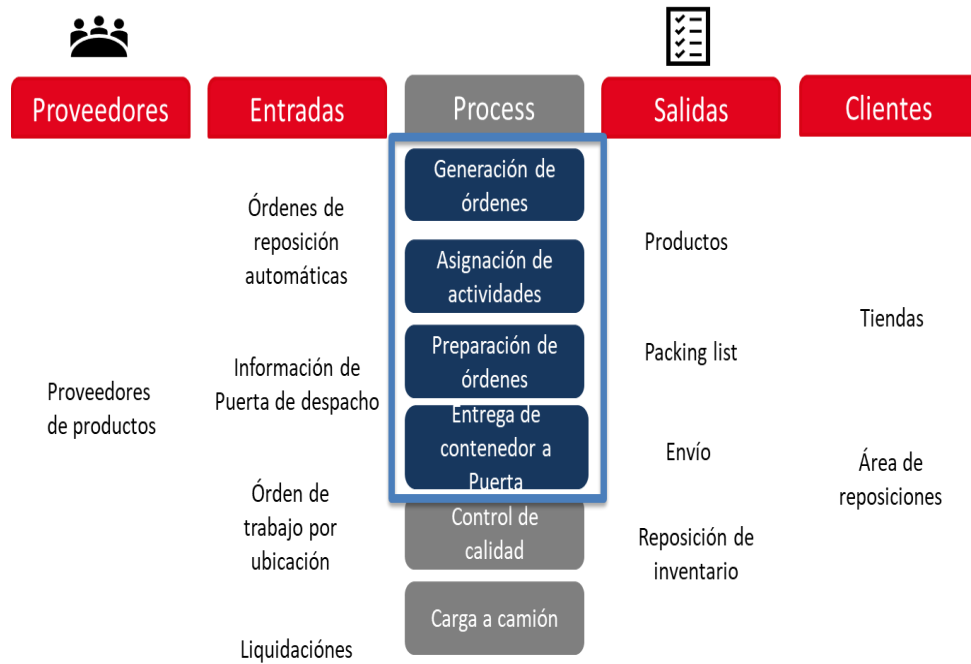
1.1.1 Alcance

Para determinar el alcance del proyecto, se levantaron todos los procesos que se realizan en el centro de distribución, particularmente en el área de almacenamiento de los productos secos (donde se llevará a cabo el proyecto), con el fin de identificar todos los procesos de interés relacionados al almacenamiento de productos secos (ver figura 1.3).



**Figura 1.3 Macromapa de procesos del centro de distribución.
Dopico-Guerra, 2019.**

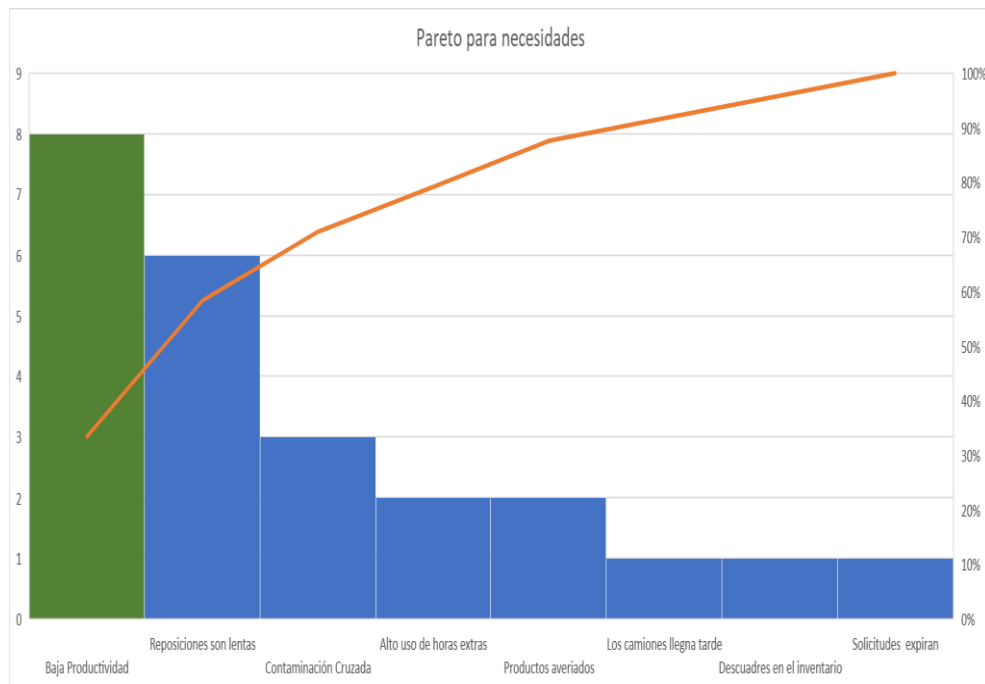
A través de la herramienta SIPOC se determinaron todas las actividades del proceso de preparación de pedidos sobre las cuales se va a enfocar el proyecto (Ver Figura 1.4). Se puede observar en el SIPOC que, dentro del proceso de preparación de pedidos, el proyecto se enfocará en las actividades de generación de órdenes, asignación de actividades, preparación del pedido y entrega de los contenedores a la zona de carga debido a que tienen un mayor impacto dentro del proceso de picking.



**Figura 1.4 Diagrama SIPOC proceso de picking.
Dopico-Guerra, 2019.**

1.1.2 Variable de Interés

Se realizaron entrevistas a un equipo multidisciplinario para recolectar la voz del cliente sobre los problemas que afectan a la compañía. Las respuestas obtenidas se agruparon en un diagrama de Pareto para determinar cuáles eran las necesidades que mayormente se repetían en las entrevistas realizadas. Esta información se ilustra en la Figura 1.5.



**Figura 1.5 Pareto de frecuencia de necesidades del cliente.
Dopico-Guerra, 2019.**

Considerando las necesidades que más se repitieron en las entrevistas, se procedió a elaborar un árbol de variables críticas (CTQ) para traducir dichas necesidades en variables cuantitativas, tal como se muestra en la Figura 1.6.

Cada una de las necesidades fue asociada a un impulsador, a su vez este impulsador fue asociado a una variable cuantitativa. Todas las variables cuantitativas se encuentran alineadas a la triple línea base de acuerdo con los pilares de la sostenibilidad. Se escogió la variable bultos por hora-hombre debido a que tiene mayor influencia y engloba al resto de variables.

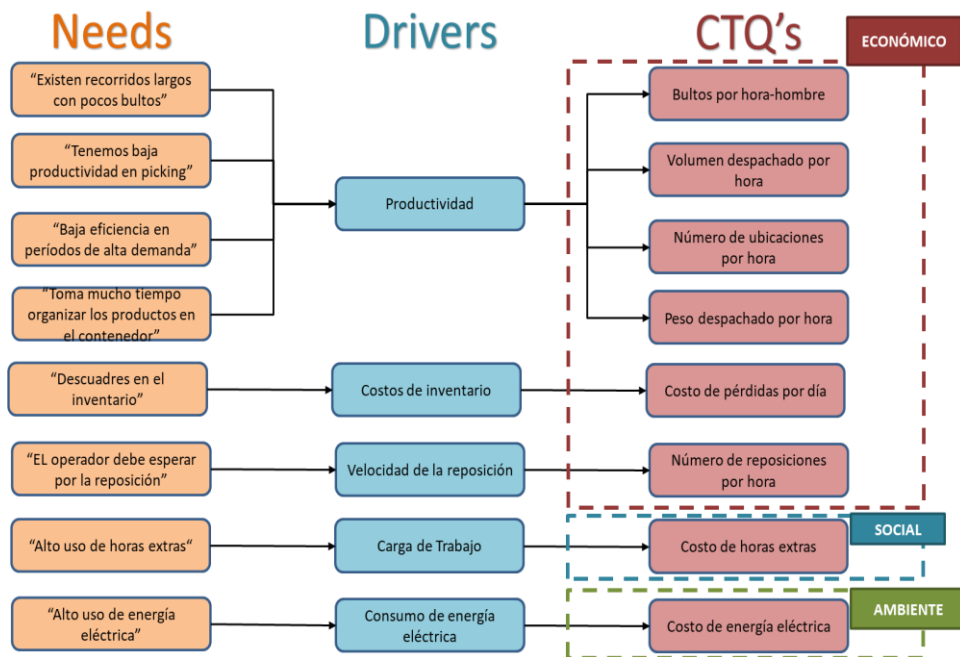


Figura 1.6 Diagrama de indicadores críticos.

Dopico-Guerra, 2019.

U

$$\text{Número de bultos por hora} - \text{hombre} = \frac{\text{Cantidad de bultos picados por operador}}{\text{Tiempo total}}$$

Ecuación 1 Productividad

Una vez determinadas las variables críticas del problema, se procede a determinar la variable de respuesta para el proyecto. La variable seleccionada es el número de bultos por hora-hombre; esta variable se relaciona y posee mayor influencia sobre las demás variables. Se define:

1.1.3 Restricciones

Las principales restricciones del proyecto son:

- La capacidad de la bodega es de 65000 m³.
- Existen períodos de temporadas como navidad, regreso a clases, carnaval, entre otros.
- La bodega de productos secos posee 52 puertas.

- El centro de distribución cuenta con 2 turnos de trabajo.

1.2 Justificación del problema

Actualmente, los despachos de la empresa son muy lentos y en ocasiones se retrasan más de lo planificado, generando incrementos en los costos de sobre tiempo y retraso de los pedidos a los locales. Es por ello, que se requiere encontrar un método para aumentar la productividad de modo que se minimicen los tiempos de despacho, tiempos de recorridos, tiempos de asimilación de pedidos y maximizar los tiempos de picking.

Este proyecto propone un método para medir correctamente la productividad actual, además de generar soluciones viables acorde a las restricciones de la empresa y factibilidad de implementación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Incrementar al menos 9.6% la productividad en la preparación de pedidos de productos secos, 160 bultos por hora-hombre.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Reducir la variabilidad en la productividad de la preparación de pedidos.
2. Reducir el sobre tiempo del personal operativo.
3. Reducir el consumo de energía eléctrica.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Six-Sigma

Six Sigma busca mejorar la calidad de los productos de proceso identificando y eliminando la causa de estos defectos (errores) y

reduciendo la variabilidad en la fabricación y los procesos (Cançado, Cançado and Torres, 2019).

1.4.2 Definir

En esta fase, el proyecto se delimita y se establecen las bases para su éxito (Gutiérrez Pulido, 2014).

1.4.3 Medir

El objetivo general de esta fase es comprender y cuantificar la magnitud del problema, por lo que se requiere una investigación más detallada del proceso para entender el flujo de trabajo y su funcionamiento (Gutiérrez Pulido, 2014).

1.4.4 Analizar

El objetivo de esta fase es identificar las causas principales del problema, entender cómo generan el problema y confirmarlos con datos (Gutiérrez Pulido, 2014).

1.4.5 Mejorar

El objetivo es proponer e implementar soluciones que satisfagan las causas profundas y asegurarse de que el problema se reduzca (Gutiérrez Pulido, 2014).

1.4.6 Controlar

Una vez implementadas las soluciones deseadas, se diseña un sistema para mantenerlas, y cerrar el proyecto (Gutiérrez Pulido, 2014).

1.4.7 Picking

El picking de pedidos es una función que se ocupa de la recuperación de artículos de su almacén con el fin de satisfacer una demanda determinada especificada por los pedidos de los clientes (Henn, Koch and Wäscher, 2011).

1.4.8 VOC

Es el elemento principal de los sistemas macro logísticos regionales e internacionales uniendo todo el movimiento de los flujos de carga por una cadena logística (Henn, Koch and Wäscher, 2011).

1.4.9 SIPOC

Es un método que distribuye las unidades de mantenimiento de existencias (SKUs) en tres clases basadas en la importancia de las SKUs en las que A, muy importante, B, moderada importante, C, menos importante (Zowid et al., 2019).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Con el objetivo de resolver el problema definido en el capítulo anterior, se utilizó la metodología DMAIC. A continuación, se detallan cada una de las etapas posteriores a definición.

2.1 Medición

En esta etapa se determinan las variables que puedan afectar a la productividad de los despachos en la bodega y posibles factores que nos ayuden a enfocar nuestro problema.

2.1.1 Plan de Recolección de Datos

Este plan tiene como objetivo determinar y recolectar datos de variables de interés para el problema. La tabla 2.1 muestra todos los campos que se necesitaron para planificar donde se iba a obtener la información, cuando se debe recolectar, el tamaño de la muestra, el método de recolección, porque se debe recolectar y quienes son los encargados.

Significado Operacional	Qué		Dónde	Cuándo	Cómo		Por qué	Quién
	Unidades	Tipo de Dato	¿Dónde recolectar?	¿Cuándo recolectar?	Tamaño de muestra	Método de recolección	¿Por qué recolectar?	Personas a cargo
Productividad	Bultos/Hora-Hombre	Cuantitativo-Continuo	Base de Datos	Inicio de la etapa de medición	Datos totales desde Junio hasta Septiembre del 2019	Datos Históricos	Permite medir la variable del problema	Líderes de proyecto
Tiempo por contenedor por hombre	Min/Contenedor-Hombre	Cuantitativo-Continuo	Base de Datos	Inicio de la etapa de medición	Datos totales desde Junio hasta Septiembre del 2019	Datos Históricos	Permite determinar tiempos que agregan valor dentro del proceso	Líderes de proyecto
Tiempo de reposición por hombre	Min/Hombre	Cuantitativo-Continuo	Base de Datos	Inicio de la etapa de medición	Datos totales desde Junio hasta Septiembre del 2019	Datos Históricos	Permite determinar tiempos que no agregan valor dentro del proceso	Líderes de proyecto
Numero de ubicaciones visitadas por hombre	Ubicaciones/Hora-Hombre	Cuantitativo-Continuo	Base de Datos	Inicio de la etapa de medición	Datos totales desde Junio hasta Septiembre del 2019	Datos Históricos	Permite determinar la tasa de ubicaciones que un operador visita	Líderes de proyecto
Volumen despachado por hombre	m ³ /Hora-Hombre	Cuantitativo-Continuo	Base de Datos	Inicio de la etapa de medición	Datos totales desde Junio hasta Septiembre del 2019	Datos Históricos	Permite determinar el volumen que cada operador debe despachar	Líderes de proyecto
Peso despachado por hombre	Kg/Hora-Hombre	Cuantitativo-Continuo	Base de Datos	Inicio de la etapa de medición	Datos totales desde Junio hasta Septiembre del 2019	Datos Históricos	Permite determinar el peso que cada operador debe despachar	Líderes de proyecto
Utilización del contenedor	%	Cuantitativo-Continuo	Base de Datos	Inicio de la etapa de medición	Datos totales desde Junio hasta Septiembre del 2019	Datos Históricos	Permite determinar la utilización del contenedor que cada operador tiene que distribuir	Líderes de proyecto
Dispatched Containers per Hour	Contenedores/Hora-Hombre	Cuantitativo-Continuo	Base de Datos	Inicio de la etapa de medición	Datos totales desde Junio hasta Septiembre del 2019	Datos Históricos	Permite determinar la cantidad de contenedores que cada operador debe despachar	Líderes de proyecto
Tiempo de picking por hombre	Min/Hombre	Cuantitativo-Continuo	Base de Datos	Inicio de la etapa de medición	Datos totales desde Junio hasta Septiembre del 2019	Datos Históricos	Permite determinar tiempos que agregan valor dentro del proceso	Líderes de proyecto
empo de transporte por hombre	Min/Hombre	Cuantitativo-Continuo	Base de Datos	Inicio de la etapa de medición	Datos totales desde Junio hasta Septiembre del 2019	Datos Históricos	Permite determinar tiempos que no agregan valor dentro del proceso	Líderes de proyecto
Tiempo total de piking por hombre	Min/Hombre	Cuantitativo-Continuo	Base de Datos	Inicio de la etapa de medición	Datos totales desde Junio hasta Septiembre del 2019	Datos Históricos	Permite determinar tiempos que no agregan valor dentro del proceso	Líderes de proyecto
Costo de horas extras	\$USD	Cuantitativo-Continuo	Base de Datos	Inicio de la etapa de medición	Datos totales desde Junio hasta Septiembre del 2019	Datos Históricos	Permite determinar una consecuencia de la baja productividad	Líderes de proyecto

Tabla 2.1 Plan de medición de variables.

Dopico Guerra, 2019.

2.1.2 Validación de datos

Para verificar la confiabilidad del sistema, se realizó un muestreo en el que se recolectaron 34 datos de tiempo de picking, para posteriormente realizar una prueba T-Student de dos muestras con un nivel de confianza del 95%. El contraste de hipótesis fue:

Ho: Las medias son iguales

Hi: Las medias difieren

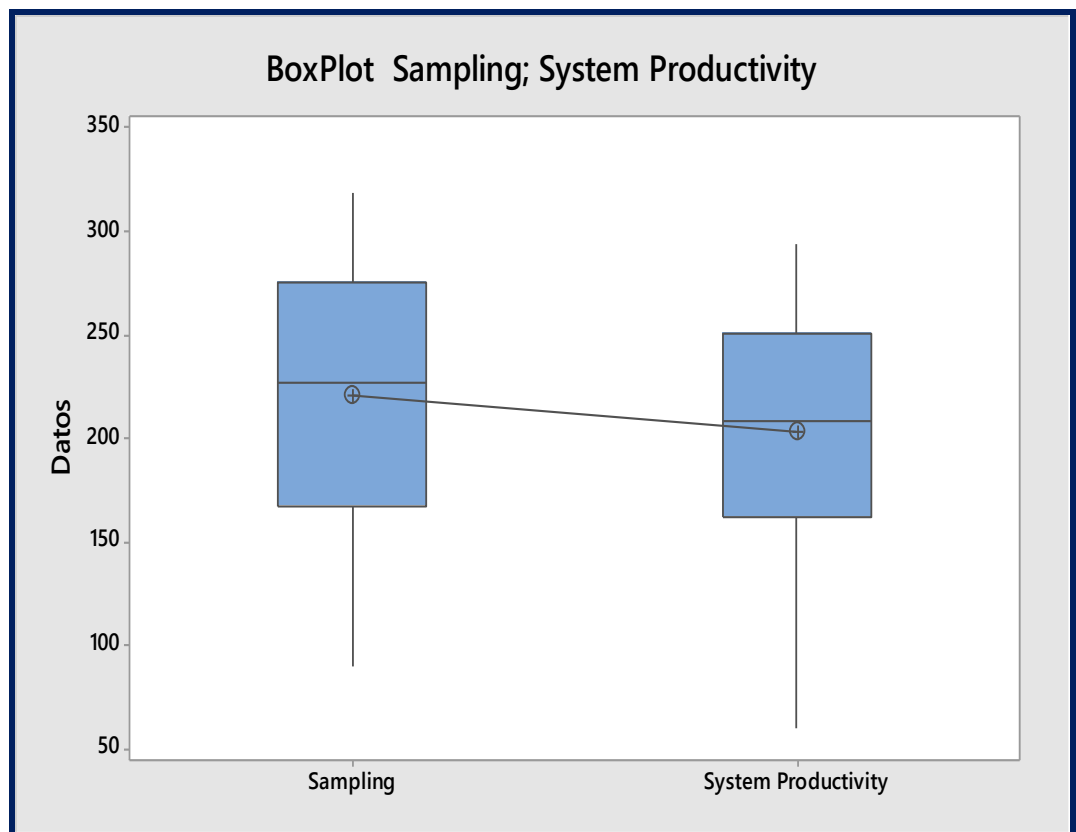


Figura 2.1 Diagrama de cajas-Datos proporcionados vs Datos recolectados.

Dopico-Guerra, 2019.

Con un valor p de 0.20, no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula; por tanto, el muestreo sugiere que los datos del sistema son confiables.

2.1.3 Estratificación

Se realizó una estratificación para determinar el subconjunto de datos en los cuales se presenten características poblacionales diferentes con la finalidad de solventarlas en beneficio de la empresa.

Para la estratificación se utilizaron dos criterios: productividad por día de la semana y productividad por horas.

En ambos casos se realizó una prueba Kruskal Wallis, con las siguientes pruebas de hipótesis:

Ho: Las medianas son iguales para todos los factores

Hi: Al menos una mediana difiere

Para días se obtuvo un valor p de 0.66, lo cual indica que la productividad es la misma a través de la semana.

Sin embargo, para horas se obtuvo un valor p de 0.00, por lo tanto, se concluye que la productividad cambia a través del día.

Para estratificar el problema, se realizó un diagrama de Pareto (Figura 2.4) entre las horas (eje horizontal) y la diferencia entre la media de esa hora y la meta del proyecto. Se seleccionaron las horas: 9,10,14,15 y 17; las demás horas no se consideraron debido a inconvenientes con el horario de trabajo.

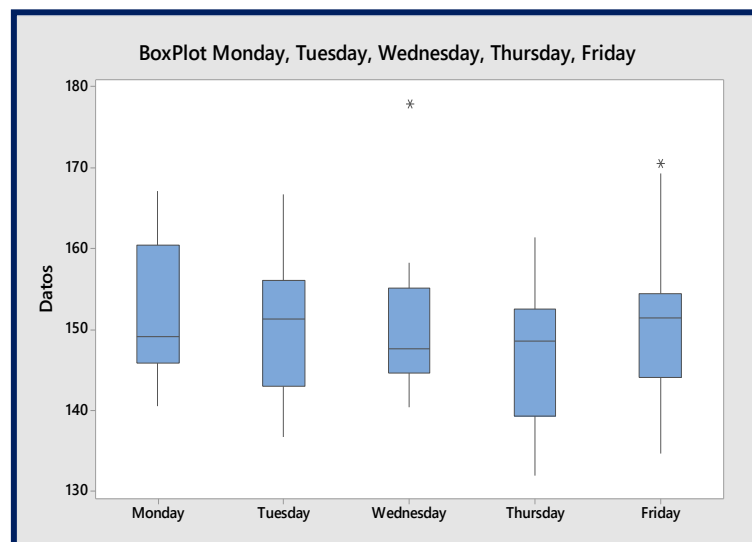
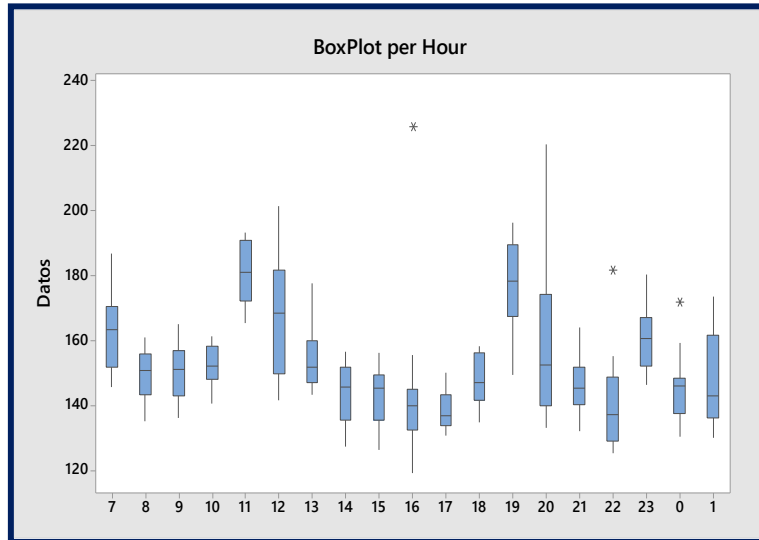
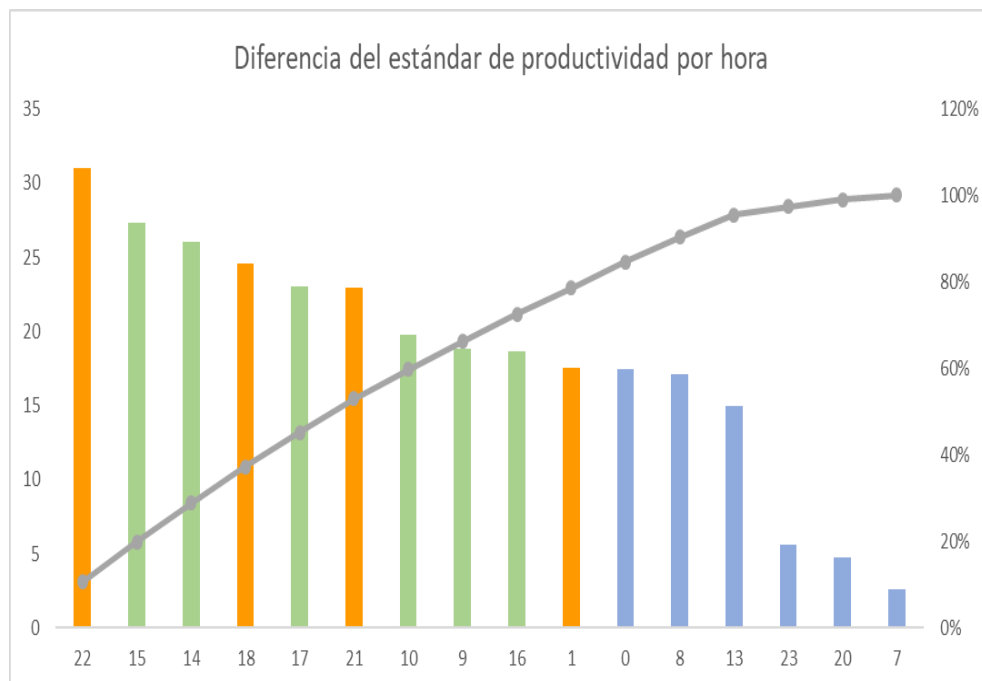


Figura 2.2 Diagrama de cajas de productividad por día.

Dopico-Guerra, 2019.



**Figura 2.3 Diagrama de cajas de productividad por horas.
Dopico-Guerra, 2019.**



**Figura 2.4 Pareto de diferencia de productividad por hora.
Dopico-Guerra, 2019.**

2.1.4 Análisis de capacidad

Al ser los datos normales, se procedió a realizar las gráficas de control X-R, y eliminar datos que se consideren fuera de control por causas asignables. Luego en se realizó el análisis de capacidad, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2.2 Análisis de capacidad por horas.
Dopico-Guerra, 2019.

Hora	Límite Inferior	Media	CPL	PPL
9:00 AM	160 bultos por hora	180 bultos por hora	-0.25	-0.22
10:00 AM			-0.11	-0.12
14:00 PM			-0.35	-0.32
15:00 PM			-0.33	-0.33
17:00 PM			-0.30	-0.29

Por lo tanto, se obtiene que el 70% de las veces, la productividad estará por debajo del estándar (160 bultos por hora). Nótese que no existe límite superior debido a que, mientras aumenta la productividad, mejor es el proceso.

2.1.5 Problema enfocado

Una vez estratificados los datos, se procedió a declarar tres problemas enfocados:

- La baja productividad en la preparación de pedidos de un centro de distribución nacional de una compañía de retail es 150 bultos por hora-hombre a las 9:00 y 10:00 am, mientras que el estándar de la compañía es 160 bultos por hora-hombre.
- La baja productividad en la preparación de pedidos de un centro de distribución nacional de una compañía de retail es 141 bultos por hora-hombre a las 14:00 y 15:00 pm, mientras que el estándar de la compañía es 160 bultos por hora-hombre.

- La baja productividad en la preparación de pedidos de un centro de distribución nacional de una compañía de retail es 142 bultos por hora-hombre a las 17:00 pm, mientras que el estándar de la compañía es 160 bultos por hora-hombre.

2.2 Análisis

2.2.1 Diagrama causas-efecto

Con el diagrama de Ishikawa (Figuras 2.5 2.6 y 2.7) se pudo conocer las diferentes causas que mermaban la productividad a las diferentes horas, según los problemas enfocados.

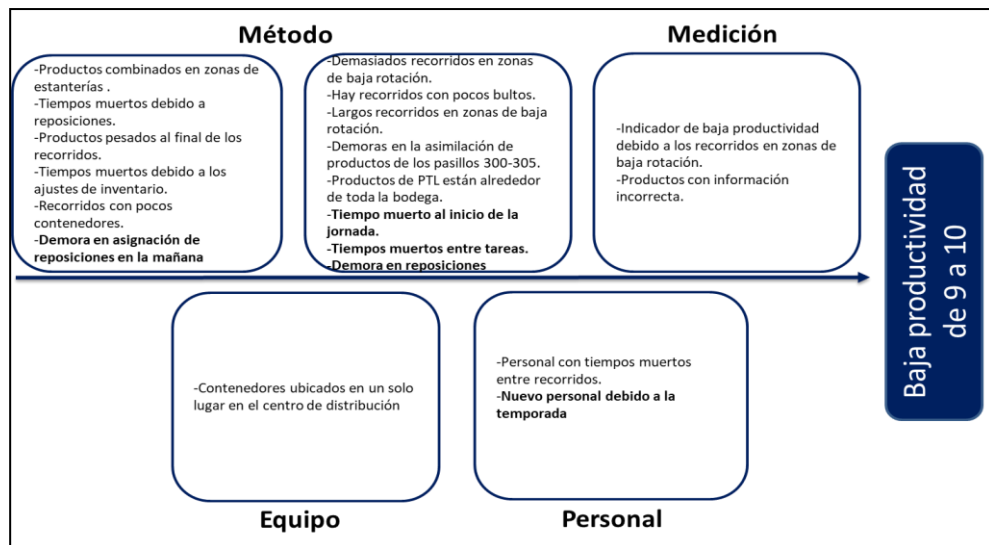


Figura 2.5 Diagrama de causa y efecto para baja productividad a las 9 y 10.

Dopico-Guerra.

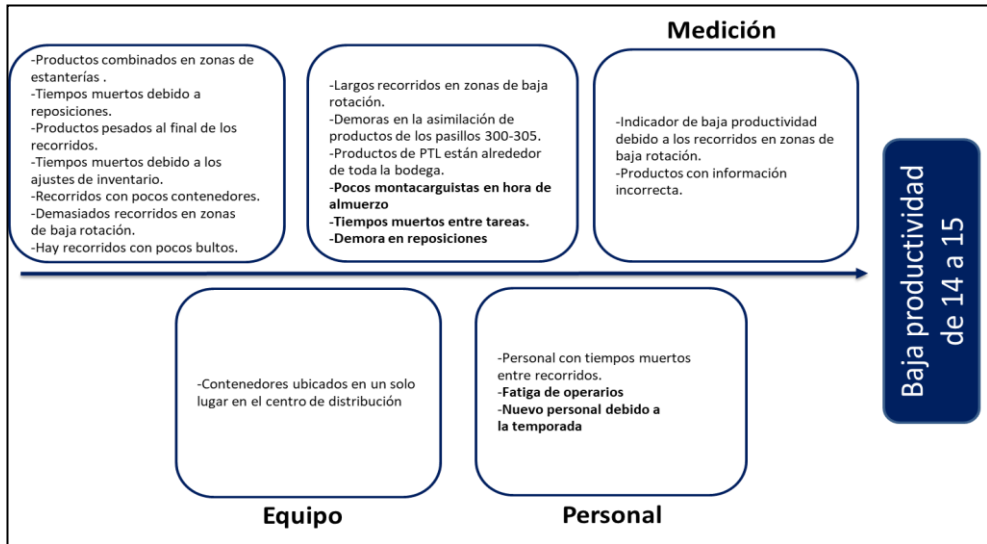


Figura 2.6 Diagrama de causa y efecto para baja productividad a las 14 y15.
Dopico-Guerra.

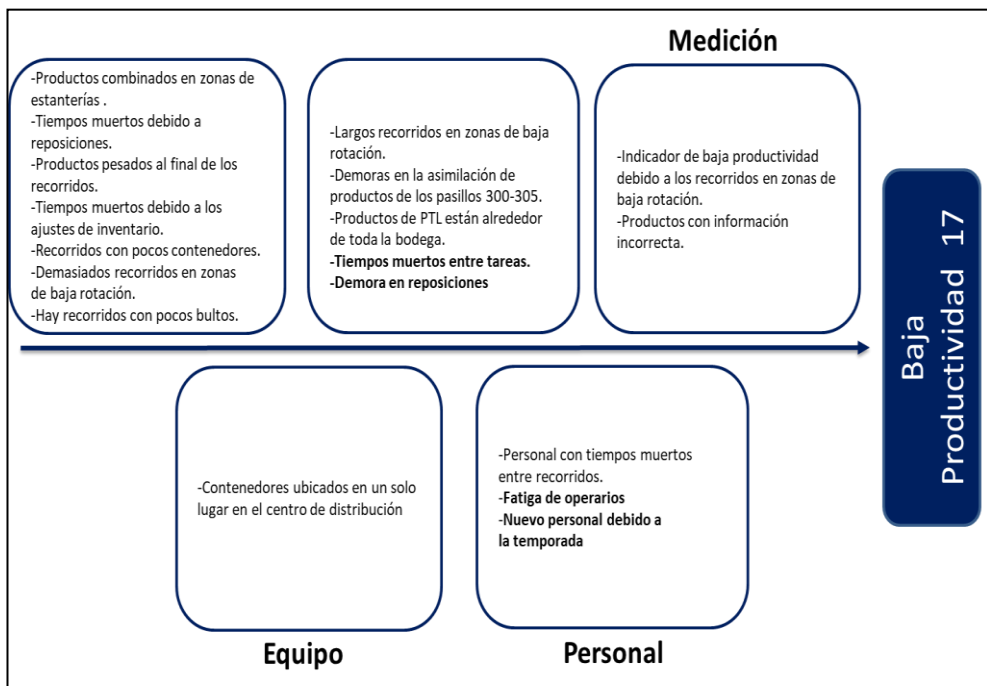


Figura 2.7 Diagrama de causa y efecto para baja productividad a las 17.
Dopico-Guerra.

2.2.2 Priorización de causas

Una vez obtenidas las causas potenciales de los problemas enfocados, se procedió a calificarlas (Tablas 2.5 2.6 y 2.7) de acuerdo con su relación al problema y la frecuencia con la que ocurre. Dentro del equipo para la calificación se tomó en cuenta a operarios, supervisores y jefes.

Para realizar la ponderación se tomó en cuenta la siguiente tabla (Tabla 2.3 y 2.4):

Tabla 2.3 Nivel de relación.
Dopico-Guerra, 2019.

Nivel de Relación	
0	Ninguna relación
1	Poca relación
3	Relación moderada
9	Relación fuerte

Tabla 2.4 Nivel de frecuencia.
Dopico-Guerra, 2019.

Nivel de Frecuencia	
0	Ninguna
1	Poca frecuencia
3	Moderada frecuencia
9	Mucha frecuencia

Tabla 2.5 Matriz de priorización de causas del problema enfocado 1.

Dopico-Guerra, 2019.

Matriz Priorización de causas P.E 1		Relación	Frecuencia	Total
N°	Causas	6	4	
1	Tiempos muertos debido a reposiciones.	9	9	90
2	Hay recorridos con pocos bultos.	9	9	90
3	Tiempos muertos entre tareas.	9	9	90
4	Indicador de baja productividad debido a los recorridos en zonas de baja rotación.	9	9	90
5	Demora en asignación de reposiciones en la mañana	9	9	90
6	Recorridos con pocos contenedores.	9	3	66
7	Nuevo personal debido a la temporada	9	1	58
8	Demasiados recorridos en zonas de baja rotación.	3	9	54
9	Largos recorridos en zonas de baja rotación.	3	9	54
10	Demoras en la asimilación de productos de los pasillos 300-305.	3	9	54
11	Tiempo muerto al inicio de la jornada.	3	9	54
12	Demora en reposiciones	3	9	54
13	Productos combinados en zonas de estanterías	1	9	42
14	Productos pesados al final de los recorridos.	3	3	30
15	Tiempos muertos debido a los ajustes de inventario.	3	3	30
16	Productos con información incorrecta.	3	3	30
17	Personal con tiempos muertos entre recorridos.	3	1	22
18	Productos de PTL están alrededor de toda la bodega.	1	3	18
19	Contenedores ubicados en un solo lugar en el centro de distribución	0	3	12

Tabla 2.6 Matriz de priorización de causas del problema enfocado 2.

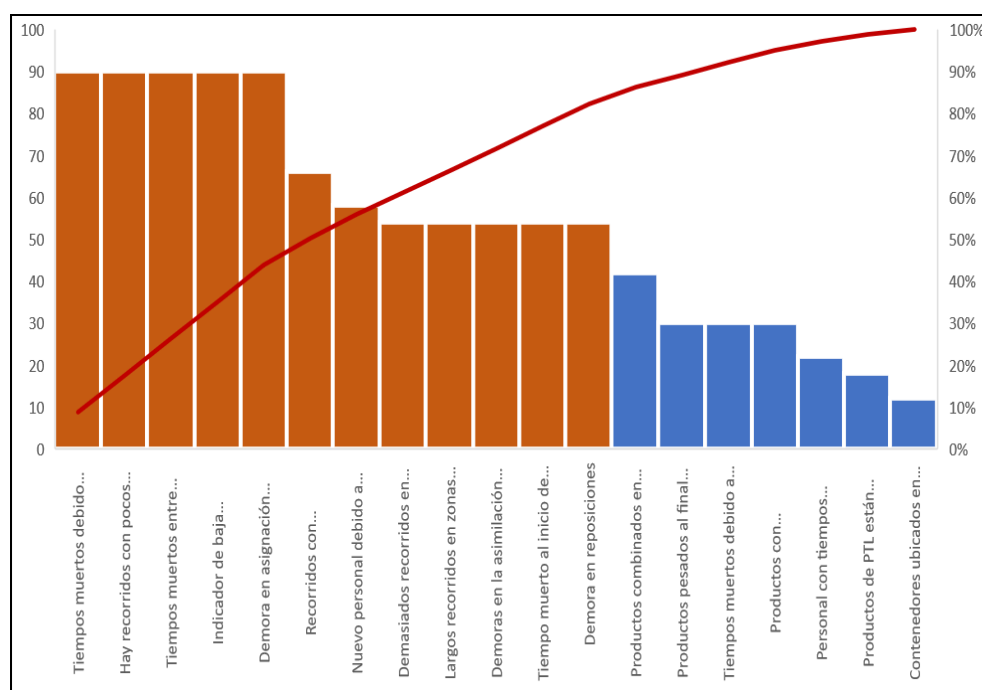
Dopico-Guerra, 2019.

Matriz Priorización de causas P.E 2		Relación	Frecuencia	Total
N°	Causas	6	4	
1	Tiempos muertos debido a reposiciones.	9	9	90
2	Hay recorridos con pocos bultos.	9	9	90
3	Tiempos muertos entre tareas.	9	9	90
4	Indicador de baja productividad debido a los recorridos en zonas de baja rotación.	9	9	90
5	Pocos montacarguistas en hora de almuerzo	9	9	90
6	Recorridos con pocos contenedores.	9	3	66
7	Nuevo personal debido a la temporada	9	1	58
8	Demasiados recorridos en zonas de baja rotación.	3	9	54
9	Largos recorridos en zonas de baja rotación.	3	9	54
10	Demoras en la asimilación de productos de los pasillos 300-305.	3	9	54
11	Demora en reposiciones	3	9	54
12	Productos combinados en zonas de estanterías	1	9	42
13	Productos pesados al final de los recorridos.	3	3	30
14	Tiempos muertos debido a los ajustes de inventario.	3	3	30
15	Productos con información incorrecta.	3	3	30
16	Fatiga de operarios	3	3	30
17	Personal con tiempos muertos entre recorridos.	3	1	22
18	Productos de PTL están alrededor de toda la bodega.	1	3	18
19	Contenedores ubicados en un solo lugar en el centro de distribución	0	3	12

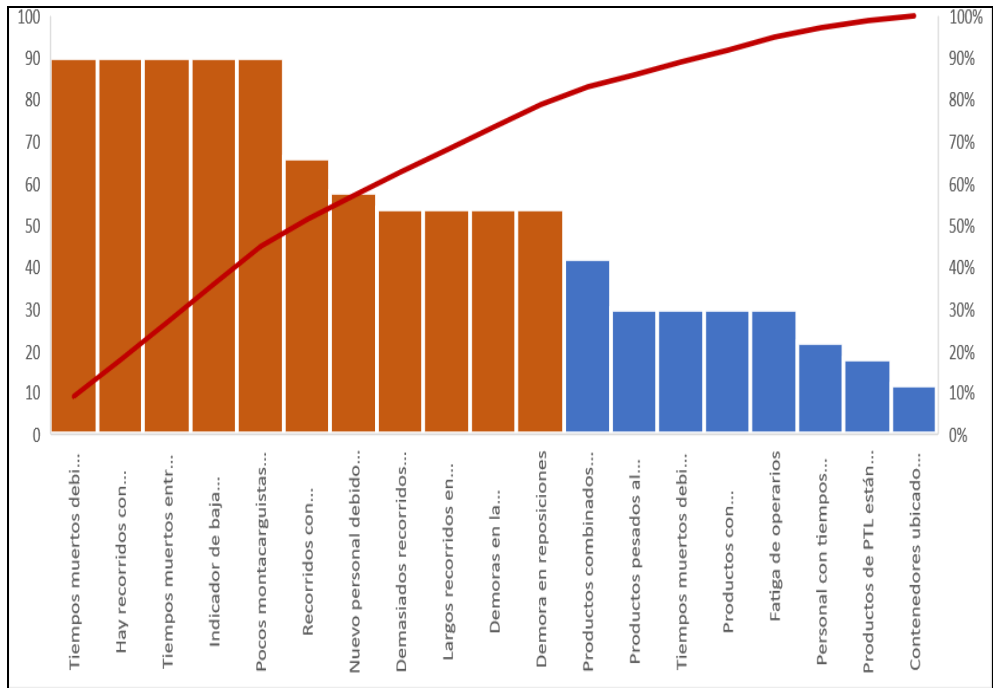
**Tabla 2.7 Matriz de priorización de causas del problema enfocado 3.
Dopico-Guerra, 2019.**

Matriz Priorización de causas P.E 1		Relación	Frecuencia	Total
N°	Causas	6	4	
1	Tiempos muertos debido a reposiciones.	9	9	90
2	Hay recorridos con pocos bultos.	9	9	90
3	Tiempos muertos entre tareas.	9	9	90
4	Indicador de baja productividad debido a los recorridos en zonas de baja rotación.	9	9	90
5	Recorridos con pocos contenedores.	9	3	66
6	Nuevo personal debido a la temporada	9	1	58
7	Demasiados recorridos en zonas de baja rotación.	3	9	54
8	Largos recorridos en zonas de baja rotación.	3	9	54
9	Demoras en la asimilación de productos de los pasillos 300-305.	3	9	54
10	Demora en reposiciones	3	9	54
11	Productos combinados en zonas de estanterías	1	9	42
12	Fatiga de operarios (Horas extras)	3	3	30
13	Productos pesados al final de los recorridos.	3	3	30
14	Tiempos muertos debido a los ajustes de inventario.	3	3	30
15	Productos con información incorrecta.	3	3	30
16	Personal con tiempos muertos entre recorridos.	3	1	22
17	Productos de PTL están alrededor de toda la bodega.	1	3	18
18	Contenedores ubicados en un solo lugar en el centro de distribución	0	3	12

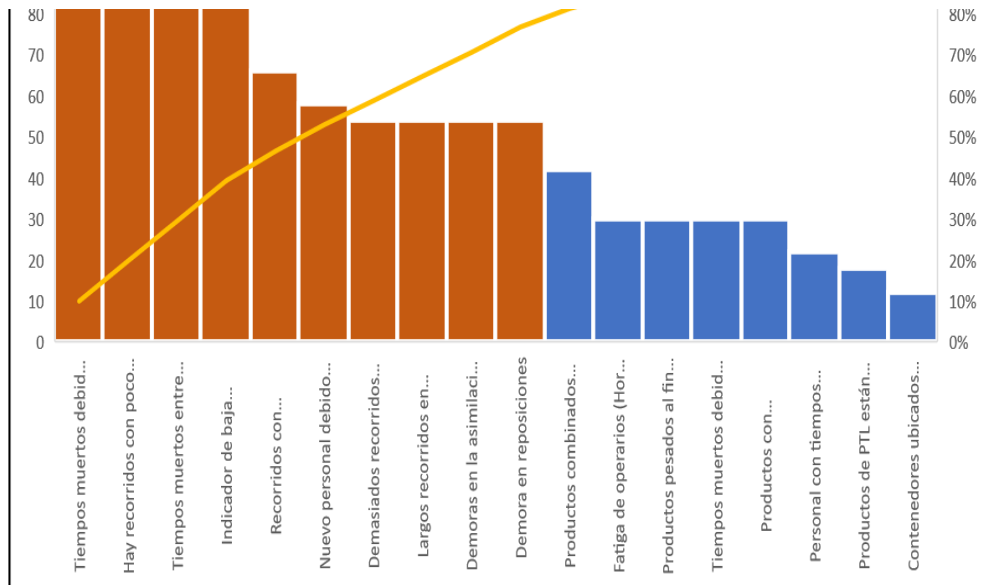
Una vez que se obtuvieron las calificaciones, se realizó un análisis de Pareto (Figuras 2.8 2.9 y 2.10) para determinar las principales causas que generan baja productividad.



**Figura 2.8 Pareto de priorización de causas problema enfocado 1.
Dopico-Guerra, 2019.**



**Figura 2.9 Pareto de priorización de causas problema enfocado 2.
Dopico-Guerra, 2019.**



**Figura 2.10 Pareto de priorización de causas problema enfocado 3.
Dopico-Guerra, 2019.**

2.2.3 Matriz de Impacto y Control

Una vez seleccionadas las causas por medio del análisis del Pareto, se realizó una matriz de Impacto-Control (Tablas 2.8 2.9 y 2.10), la cual tiene como objetivo determinar aquellas causas que generen un alto impacto y requieran poco control.

Tabla 2.8 Matriz Impacto vs Control problema enfocado 1.

Dopico-Guerra, 2019.

#Causa	Matriz Impacto vs Control	Impacto	Control
1	Tiempos muertos debido a reposiciones.	90	5
2	Hay recorridos con pocos bultos.	90	6
3	Tiempos muertos entre tareas	90	12
4	Indicador de baja productividad debido a los recorridos en zonas de baja rotación	90	3
5	Demora en asignación de reposiciones en la mañana	90	11
6	Recorridos con pocos contenedores	66	6
7	Nuevo personal debido a la temporada	58	15
8	Demasiados recorridos en zonas de baja rotación	54	5
9	Largos recorridos en zonas de baja rotación	54	4
10	Demoras en la asimilación de productos de los pasillos 300-305	54	2
11	Tiempo muerto al inicio de la jornada	54	6
12	Demora en reposiciones	54	8

Tabla 2.9 Matriz Impacto vs Control problema enfocado 2.

Dopico-Guerra, 2019.

#Causa	Matriz Impacto vs Control	Impacto	Control
1	Tiempos muertos debido a reposiciones	90	5
2	Hay recorridos con pocos bultos	90	6
3	Tiempos muertos entre tareas	90	12
4	Indicador de baja productividad debido a los recorridos en zonas de baja rotación	90	3
5	Pocos montacarguistas en hora de almuerzo	90	11
6	Recorridos con pocos contenedores	66	6
7	Nuevo personal debido a la temporada	58	15
8	Demasiados recorridos en zonas de baja rotación	54	5
9	Largos recorridos en zonas de baja rotación	54	4

#Causa	Matriz Impacto vs Control	Impacto	Control
10	Demoras en la asimilación de productos de los pasillos 300-305	54	2
11	Demora en reposiciones	54	6

**Tabla 2.10 Matriz Impacto vs Control problema enfocado 3.
Dopico-Guerra, 2019.**

#Causa	Matriz Impacto vs Control	Impacto	Control
1	Tiempos muertos debido a reposiciones	90	5
2	Hay recorridos con pocos bultos	90	6
3	Tiempos muertos entre tareas	90	12
4	Indicador de baja productividad debido a los recorridos en zonas de baja rotación	90	3
5	Recorridos con pocos contenedores	90	6
6	Nuevo personal debido a la temporada	66	15
7	Demasiados recorridos en zonas de baja rotación	58	5
8	Largos recorridos en zonas de baja rotación	54	4
9	Demoras en la asimilación de productos de los pasillos 300-305	54	2
10	Demora en reposiciones	54	6

2.2.4 Plan de verificación de causas

Para verificar de manera objetiva las causas potenciales, se realizó un plan de verificación (Tabla 2.11), donde, se prueba estadísticamente cada teoría que afecta al problema enfocado.

**Tabla 2.11 Plan de verificación de causas.
Dopico-Guerra, 2019.**

Causa Potencial	Teoría	¿Cómo Verificar?	Estatus
Tiempos muertos debido a reposiciones	Los usuarios tienen que esperar a que se realice la reposición para poder recoger el producto generando mayor tiempo de recorrido, lo cual, baja la productividad	Data Histórica	Verificada
Recorridos con pocos bultos	Los usuarios tienen que realizar todo el recorrido por pocos bultos por lo que la productividad disminuye	Data Histórica	Verificada

Causa Potencial	Teoría	¿Cómo Verificar?	Estatus
Indicador de productividad bajo debido a recorridos en zonas de alta rotación	La productividad es afectada según la zona donde se realice el recorrido	Data Histórica	Verificada
Recorridos con pocos contenedores	Los usuarios tienen que realizar todo el recorrido solo para llenar un contenedor, cuando la capacidad del equipo es de cuatro, lo cual baja la productividad	Data Histórica	Verificada
Alta cantidad de tareas en zona de baja rotación	El exceso de recorridos en la zona de baja rotación disminuye la productividad	Data Histórica	Verificada
Largos recorridos en la zona de baja rotación	La zona de baja rotación tiene muchos pasillos, lo cual aumenta el tiempo del recorrido, por consiguiente, disminuye la productividad	Data Histórica	Verificada
Demoras en asimilación de productos en pasillos 300-305	Asimilación de productos aumenta el tiempo del recorrido, lo cual, baja la productividad	Data Histórica	Verificada
Tiempo muerto al inicio de la jornada	Usuarios deben esperar hasta que se incorpore los pedidos de PTL para que se generen las reposiciones por lo que disminuye la productividad	Data Histórica	Verificada
Demora en las reposiciones	Recorridos de reposiciones largos, lo cual disminuye la productividad	Data Histórica	Verificada

2.2.5 Verificación de causas

Para la verificación de causas se utilizaron las siguientes pruebas de hipótesis con un nivel de confianza del 95%:

-T de dos muestras

Ho: Las medias de los dos grupos son iguales

HI: Las medias son diferentes

-Anova

Ho: Las medias de los k grupos son iguales

HI: Al menos una media difiere

-Kruskall-Wallys

Ho: Las medianas de los k grupos son iguales

HI: Al menos una mediana difiere

2.2.5.1 *Paras debido a espera por reposiciones*

Se realizó prueba t de para muestras y se obtuvo un valor p de 0.023, con lo cual concluimos que la productividad si se ve afectada por esperas por reposiciones.

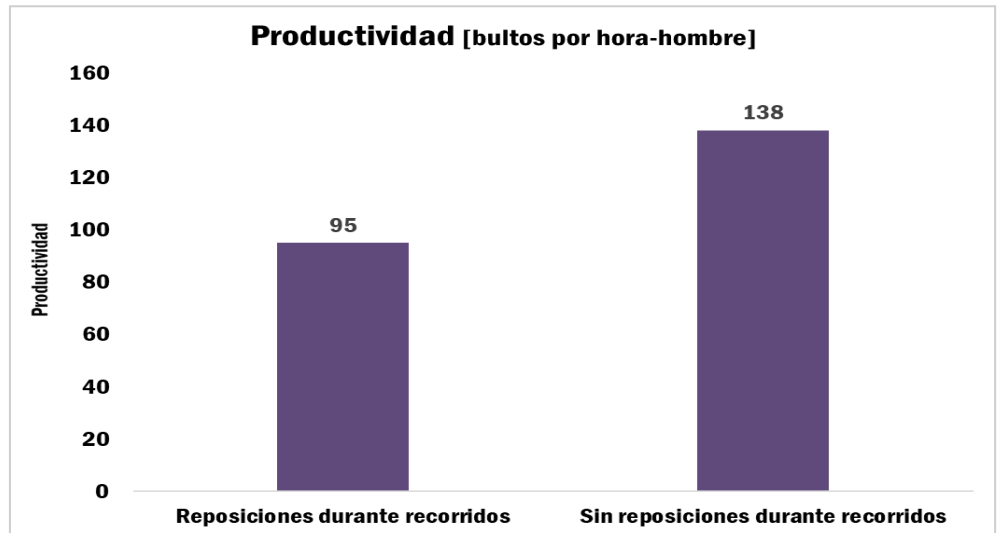


Figura 2.11 Productividad vs existencia de reposiciones durante recorridos.
Dopico-Guerra, 2019.

2.2.5.2 *Existen recorridos con pocos bultos*

Para verificar esta causa se utilizó una prueba Kruskal-Wallis y se obtuvo un valor p de 0.000, con lo cual se concluye que la productividad se ve afectada por la cantidad de bultos que realizó en el recorrido.

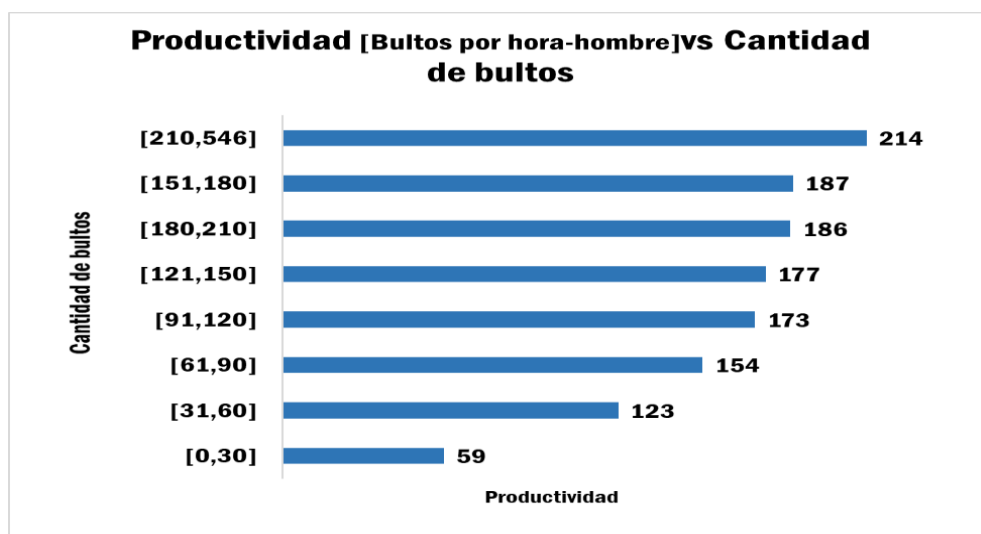


Figura 2.12 Productividad vs cantidad de bultos.
Dopico-Guerra, 2019.

2.2.5.3 Baja productividad debido a recorridos en zona de baja rotación

Para verificar esta causa se utilizó una prueba Kruskal-Wallis y se obtuvo un valor p de 0.000, con lo cual se concluye que la productividad se ve afectada zona en la que realizó en el recorrido.

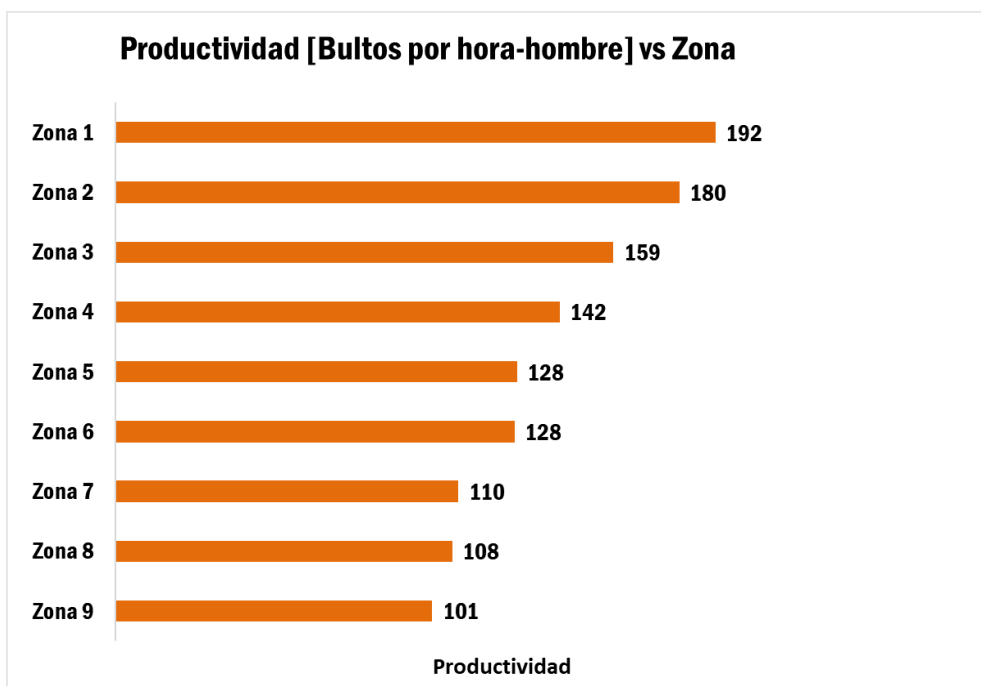


Figura 2.13 Productividad por zona.
Dopico-Guerra, 2019.

2.2.5.4 Existen recorridos con pocos contenedores

Para verificar esta causa se utilizó una prueba Kruskal-Wallis y se obtuvo un valor p de 0.000, con lo cual se concluye que la productividad se ve afectada por la cantidad de contenedores con lo que realizó en el recorrido.

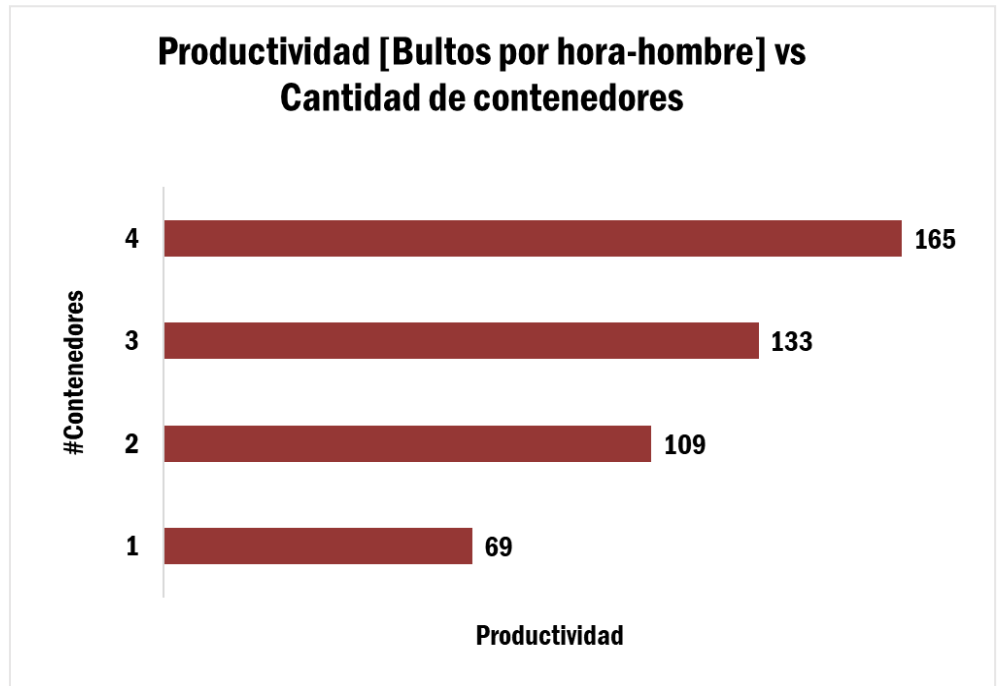


Figura 2.14 Productividad vs cantidad de contenedores.

Dopico-Guerra, 2019.

2.2.5.5 Alta cantidad de recorridos en zona de baja rotación

Para verificar esta causa se utilizó una prueba Anova y se obtuvo un valor p de 0.020, con lo cual se concluye que la productividad se ve afectada por la cantidad de recorridos que se realicen en la zona de baja rotación.

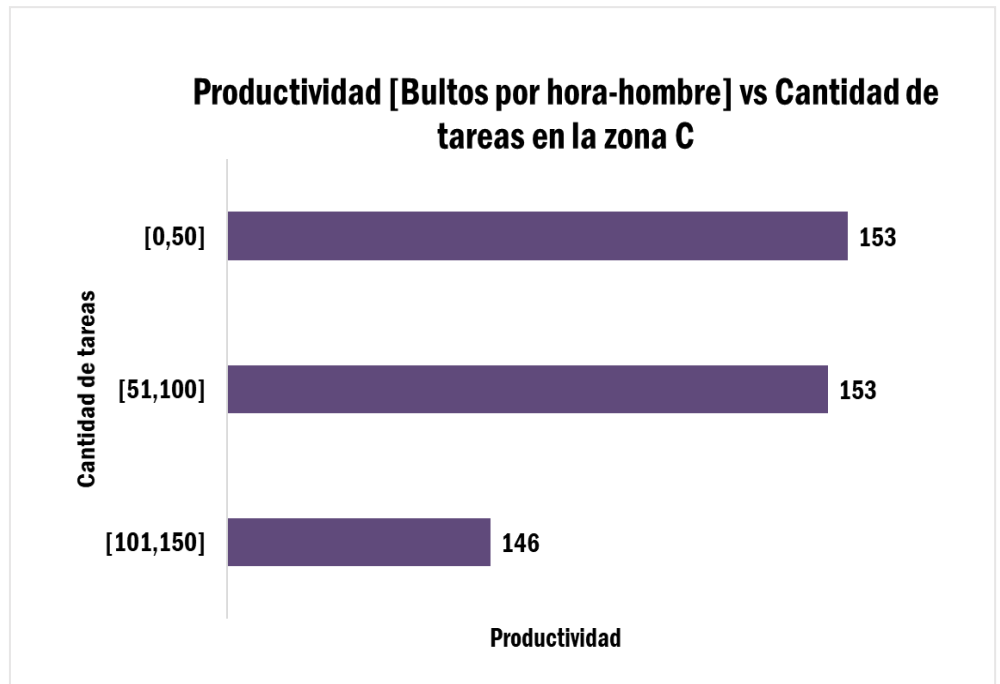


Figura 2.15 Productividad vs cantidad de tareas en zona C.
Dopico-Guerra, 2019.

2.2.5.6 Recorridos muy largos en zona de baja rotación

Para verificar esta causa se utilizó una prueba Kruskal-Wallis y se obtuvo un valor p de 0.000, con lo cual se concluye que la productividad se ve afectada por la distancia recorrida en la zona de baja rotación.

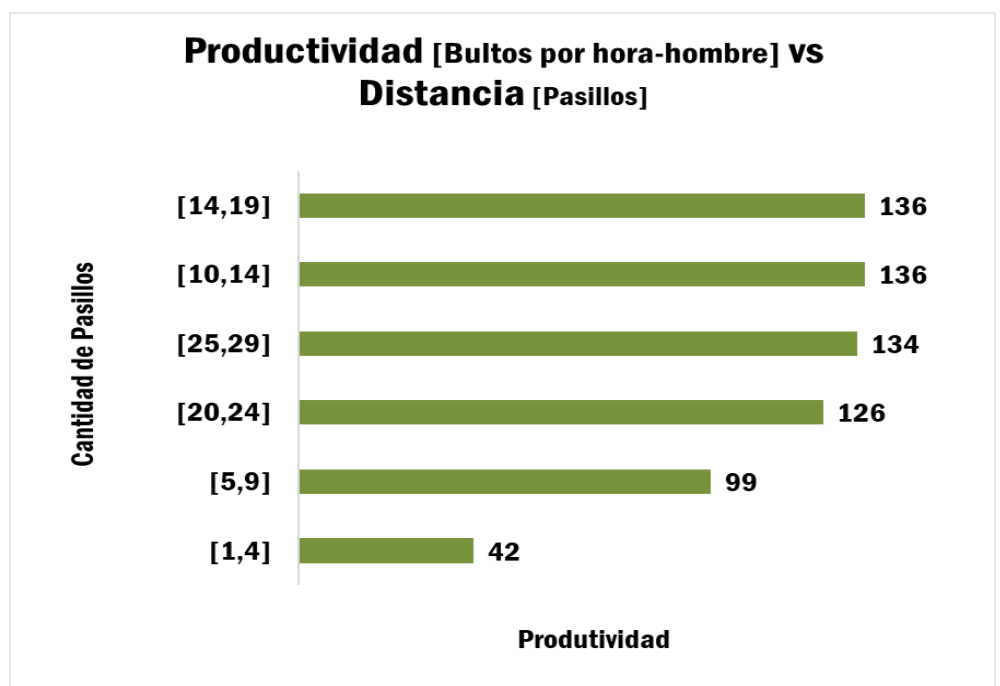


Figura 2.16 Productividad vs Distancia.
Dopico-Guerra, 2019.

2.2.5.7 Demora de asimilación de recorridos de pasillos 300

Para verificar esta causa se utilizó una prueba Anova y se obtuvo un valor p de 0.120, con lo cual se concluye que la productividad no se ve afectada por el tiempo de asimilación en los pasillos 300.

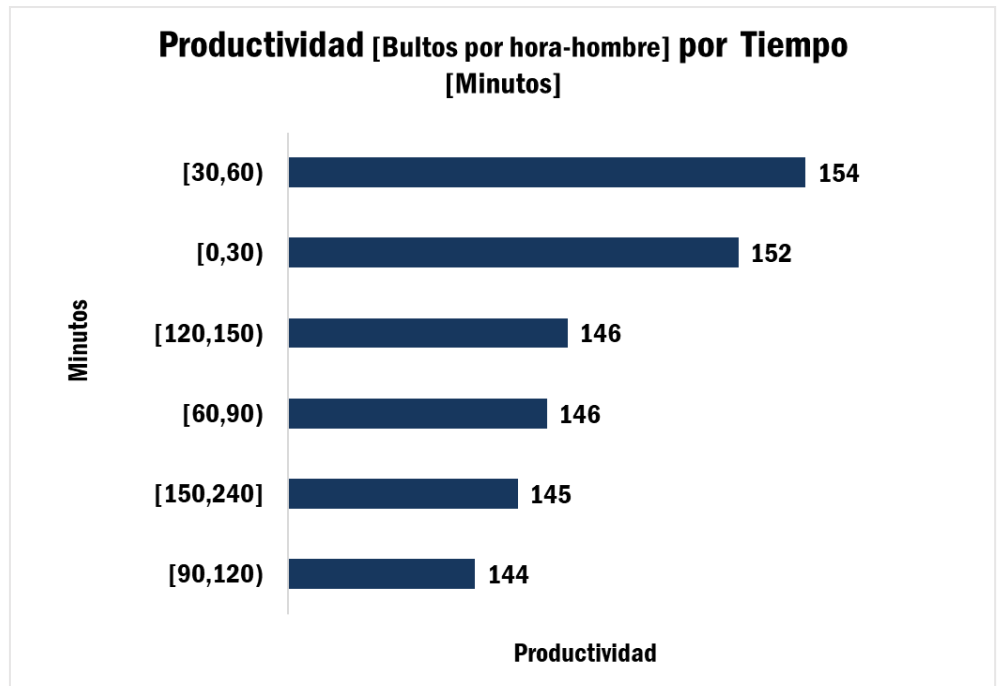


Figura 2.17 Productividad vs tiempo.

Dopico-Guerra, 2019.

2.2.5.8 Tiempo muerto al inicio de la jornada

Para verificar esta causa se utilizó una prueba Anova y se obtuvo un valor p de 0.424, con lo cual se concluye que la productividad no se ve afectada por el tiempo muerto al inicio de la jornada.

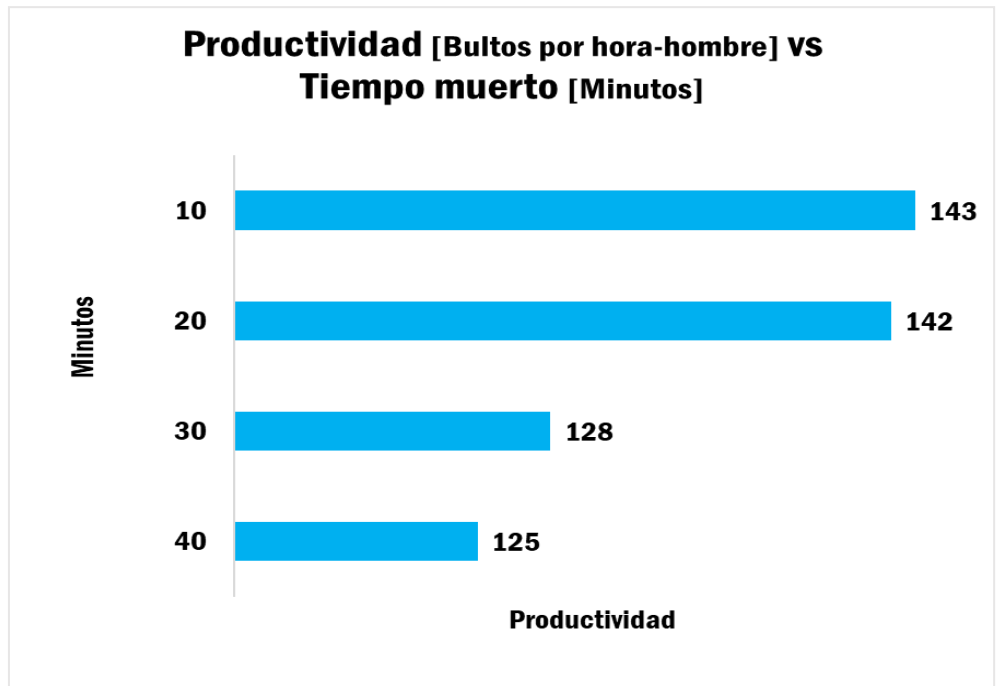


Figura 2.18 Productividad vs tiempo muerto.
Dopico-Guerra, 2019.

2.2.5.9 Alto recorrido en zona de reposición

Para verificar esta causa se utilizó una prueba Kruskal-Wallis y se obtuvo un valor p de 0.000, con lo cual se concluye que la productividad se ve afectada por la distancia recorrida en las reposiciones.

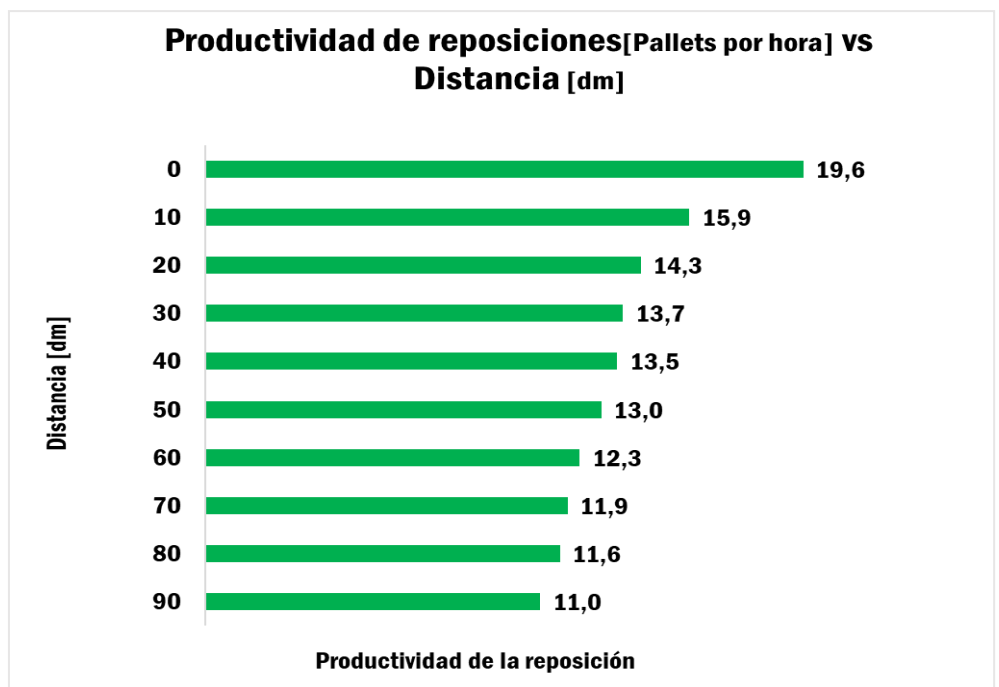


Figura 2.19 Productividad vs distancia.
Dopico-Guerra, 2019.

2.2.6 Determinación de causas raíces

A partir de la verificación de causas potenciales acerca de la baja productividad en la preparación de pedidos, se utilizó la herramienta del 5 ¿Por qué? Para determinar las causas raíz y proceder con su verificación.

2.2.6.1 Existen saldos ficticios en el inventario

Tabla 2.12 Análisis de causa raíz saldos ficticios.
Dopico-Guerra, 2019.

Causa 1			
Ronda 1	Hipótesis	Ronda 2	Hipótesis
¿Por qué hay tiempos muertos durante el picking de los pedidos?		¿Por qué no hay producto o no hay la cantidad suficiente cuando el operador llega a la ubicación?	
El operador llega a la ubicación y no hay producto o no hay la cantidad suficiente	Yes	Existen saldos ficticios en los inventarios	Yes

Del análisis del 5 ¿Por qué's? se obtuvo que la causa raíz son los saldos ficticios en los inventarios por lo que se utilizaron los reportes ajustes de inventario y picking por olas en los cuales se especificaban los ajustes de inventario realizados por fecha y los tiempos entre picadas de los productos, donde los tiempos entre picadas más largos se verificaba si el inventario del sku fue ajustado en el mismo horario. A partir de la información se obtuvieron los siguientes resultados como se muestra en la figura 2.20.

Skus	Saldo ficticio
259009000	-20
149617000	-10
091191002	-1

20 Minutes

Figura 2.20 Descuadres de inventario.
Dopico-Guerra, 2019.

existen saldos ficticios en el inventario lo cual genera una espera de 20 minutos en promedio para poder continuar con la preparación del pedido.

2.2.6.2 Productos de alta rotación en zona de baja rotación

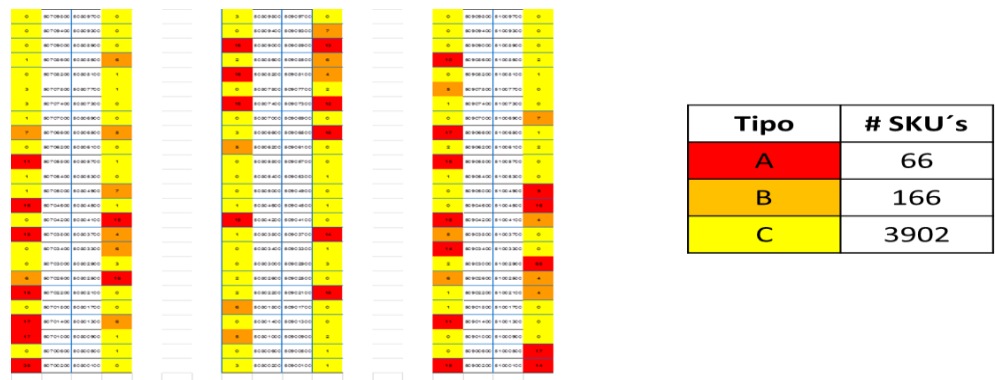
Tabla 2.13 Análisis de causa raíz recorridos con pocos bultos.
Dopico-Guerra, 2019.

Causa 2	
Ronda 1	Hipótesis
¿Por qué hay recorridos con pocos bultos?	
Productos de alta de rotación en zona de baja rotación	Yes

**Tabla 2.14 Análisis de causa raíz productos de alta rotación.
Dopico-Guerra, 2019.**

Causa 5	
Ronda 1	Hipótesis
¿Por qué hay muchos recorridos en zona de baja rotación?	
Productos de alta de rotación en zona de baja rotación	Yes

De los análisis del 5 ¿Por qué's? se obtuvo que la causa raíz son los productos de alta rotación en la zona de baja rotación por lo que elaboró un análisis ABC de productos y se determinó dónde están ubicados dentro de la bodega, es decir, en zona de alta o baja rotación. A partir de la información se obtuvieron los resultados como se muestra en la figura 2.21.



**Figura 2.21 Mapa de calor para ABC de productos.
Dopico-Guerra, 2019.**

En el gráfico se pueden observar 3 pasillos de la zona de baja rotación donde se encuentran un total de 66 sku's tipo A, 166 sku's tipo B y 3902 sku's tipo C, por lo que se puede concluir que existen productos de alta rotación en la zona de baja rotación.

2.2.6.3 La productividad se mide de la misma forma en toda la bodega

Tabla 2.15 Análisis de causa raíz productividad.
Dopico-Guerra, 2019.

Causa 3			
Ronda 1	Hipótesis	Ronda 2	Hipótesis
¿Por qué el indicador de productividad es afectado por la zona?		¿Por qué el indicador no toma en cuenta donde el usuario realizó el recorrido?	
Indicador no toma en cuenta donde el usuario realizó el recorrido	Yes	La productividad se mide de la misma forma en la bodega	Yes

Del análisis del 5 ¿Por qué's? se obtuvo que la productividad se mide de la misma forma en la bodega sin considerar la zona donde se encuentra el operador realizando el picking del pedido por lo que se utilizó el reporte de detalle de despacho donde se especificaban la cantidad de recorridos realizados por operador, cantidad de bultos cogidos por operador, tiempo de picking por operador y las zonas visitadas por el operador. A partir de la información, se obtuvieron los siguientes resultados como se muestra en la figura 2.22.

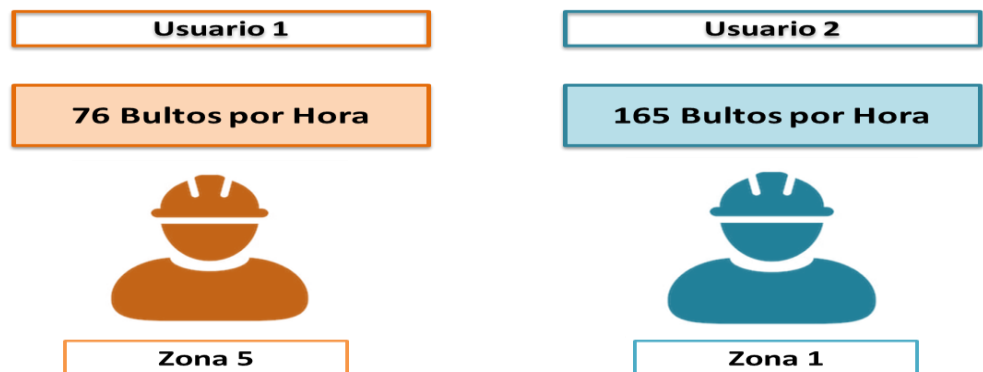


Figura 2.22 Productividad por usuario.
Dopico-Guerra, 2019.

De acuerdo con los resultados se puede concluir que la productividad no es la misma en las zonas de la bodega por lo que no se puede comparar el desempeño de los operadores en un marco general.

2.2.6.4 El sistema asigna contenedores a recorridos tomando en cuenta solo la zona

**Tabla 2.16 Análisis de causa raíz asignación de contenedores.
Dopico-Guerra, 2019.**

Causa 4			
Ronda 1	Hipótesis	Ronda 2	Hipótesis
¿Por qué hay recorridos con pocos contenedores?		¿Por qué el sistema no maximiza la utilización del equipo?	
El sistema no maximiza la utilización del equipo	Yes	El sistema asigna contenedores a recorridos tomando en cuenta solo la zona	Yes

Del análisis del 5 ¿Por qué's? se obtuvo que el sistema asigna contenedores a recorridos tomando en cuenta solo la zona donde se encuentra el operador por lo que se utilizaron los reportes de contenedores cargados al camión y picking por olas donde se especificaba el tiempo de picking del pedido y la cantidad de metros recorridos por bultos. A partir de la información se obtuvieron los resultados como se muestra en la figura 2.23.

Actual			Óptimo		
# Tareas	# Pasillos	# Contenedores	# Tareas	# Pasillos	# Contenedores
1	7	4	1	7	3
2	7	4	2	7	4
3	7	4	3	4	3
4	7	1	4	7	3
5	7	4	5	6	4

Total: 35 Pasillos

Total: 31 Pasillos

Figura 2.23 Resultado modelo de optimización.
Dopico-Guerra, 2019.

De acuerdo con los resultados se puede concluir que se puede minimizar la distancia total recorrida considerando una mejor asignación de los contenedores a los recorridos.

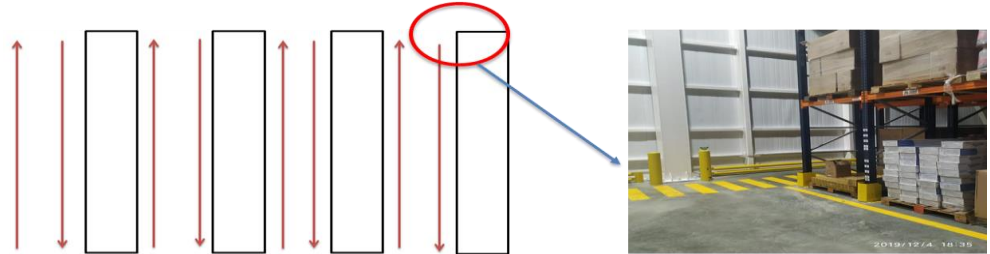
2.2.6.5 Conexión limitada entre pasillos

Tabla 2.17 Análisis de causa raíz pasillos.
Dopico-Guerra, 2019.

Causa 6			
Ronda 1	Hipótesis	Ronda 2	Hipótesis
¿Por qué los recorridos son largos en la zona de baja rotación?		¿Por qué usuario debe retroceder para dirigirse al siguiente pasillo?	
Usuario debe retroceder para dirigirse al siguiente pasillo	Yes	Existe una conexión limitada entre pasillos	Yes

Del análisis del 5 ¿Por qué's? se obtuvo que existe una conexión limitada entre pasillos debido a que no se puede girar de un pasillo a otro en la parte final de este ya que los racks no permiten que el operador realice este movimiento con el montacargas por lo que

debe ir hacia el extremo inicial con el fin de poder girar al siguiente pasillo.



Usuarios no pueden girar al siguiente pasillo

Figura 2.24 Layout pasillos 500.

Dopico-Guerra, 2019.

Mediante Gemba se verificó que solo se puede girar entre pasillos por el extremo inicial en la zona de baja rotación.

2.2.6.6 Los sku's están almacenados en diferentes partes de la bodega

Tabla 2.18 Análisis de causa raíz sku's.

Dopico-Guerra, 2019.

Causa 9			
Ronda 1	Hipótesis	Ronda 2	Hipótesis
¿Por qué las reposiciones duran mucho tiempo?		¿Por qué las reposiciones se encuentran lejos del picking de cada estadístico?	
Las reposiciones se encuentran lejos del picking de cada estadístico	Yes	Los estadísticos están almacenados en diferentes partes de la bodega	Yes

Del análisis del 5 ¿Por qué's? se obtuvo que los estadísticos están almacenados en diferentes partes de la bodega por lo que se utilizó el reporte de productividad por reposiciones donde se especifica tiempo entre reposición, distancia recorrida, pasillo inicial y pasillo final. A partir de la información se obtuvieron los resultados como se muestra en la figura 2.25.

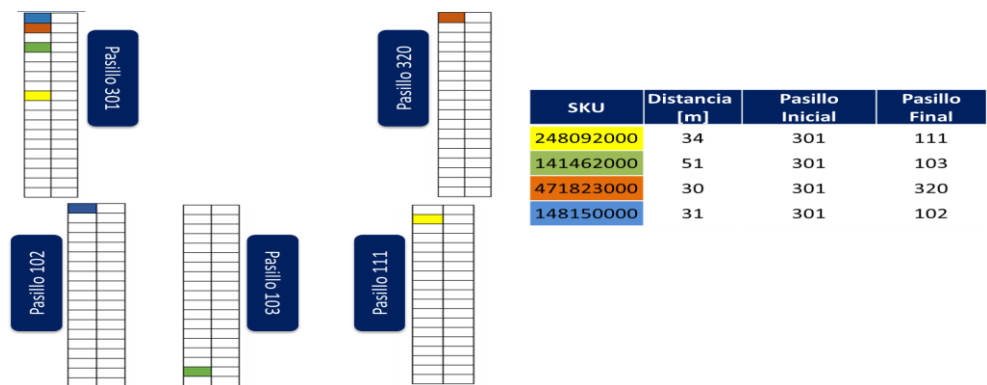


Figura 2.25 Layout de reabastecimiento.

Dopico-Guerra, 2019.

De acuerdo con los resultados se puede concluir que existen sku's ubicados en diferentes partes de la bodega, esto causa que el tiempo entre reposiciones sea más grande y en ocasiones, el operador deba esperar la reposición para poder seguir realizando el picking del pedido.

2.3 Mejora

2.3.1 Lluvia de idas soluciones

Al establecer las causas raíces de los problemas enfocados, se procedió a realizar una lluvia de ideas de cada solución para posteriormente, comprobar si factibilidad.

Tabla 2.19 Lluvia de ideas soluciones por causa raíz.

Dopico-Guerra, 2019.

Y Enfocada	Causa Raíz	Solución
Baja Productividad 9,10,14,15,17	Existen saldos ficticios en el inventario	Incluir en PDT opción para generar reposiciones y ajustes de inventario
		Reforzar capacitación a usuarios para evitar malos despachos
		Actualizar volumetrías de estadísticos
	Existen productos de alta rotación en la zona de baja rotación	Elaborar mapa de calor para ABC de productos
		Retirar productos de alta rotación de zona de baja rotación
	La productividad se mide igual para todas las zonas de la bodega	Crear indicador que tome en cuenta la productividad por zona
	El sistema asigna los contenedores a los recorridos tomando en cuenta solo la zona	Crear modelo de asignación que minimice la distancia recorrida
	Conexión limitada entre pasillos	Retirar parantes de pasillos 500 para disminuir la distancia en el recorrido
SKU's de la bodega se encuentran almacenados en diferentes partes de la bodega	Colocar stock de almacenamiento en el mismo rack del estadístico	

2.3.2 Selección de soluciones

Para comprobar la factibilidad de cada solución propuesta, se elaboró una matriz de impacto vs esfuerzo, donde, aquellas soluciones que generen un menor esfuerzo de implementación y mayor impacto fueron seleccionadas.

Tabla 2.20 Matriz Esfuerzo-Impacto de soluciones.

Dopico-Guerra, 2019.

Soluciones	Impacto	Esfuerzo
Incluir en PDT opción para generar reposiciones y ajustes de inventario	8	4
Reforzar capacitación a usuarios para evitar malos despachos	7	1
Actualizar volumetrías de estadísticos	3	6
Retirar productos de alta rotación de zona de baja rotación	6	4
Crear indicador que tome en cuenta la productividad por zona	7	4
Crear modelo de asignación que minimice la distancia recorrida	9	5
Retirar parantes de pasillos 500 para disminuir la distancia en el recorrido	6	5
Colocar stock de almacenamiento en el mismo rack del estadístico	3	7
Elaborar mapa de calor para ABC de productos	5	2

2.3.3 Plan de implementación

Una vez seleccionadas las soluciones, se procedió a realizar un plan de implementación, en el cual, se fijaron los detalles de cada propuesta.

Tabla 2.21 Plan de implementación.

Dopico-Guerra, 2019.

Solución	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Quién?	Costo	Estado
Incluir en PDT opción para generar reposiciones y ajustes de inventario	Porque ayudará a que los usuarios disminuyan el tiempo de espera en asignación de reposición y ajuste de inventario	Junto al departamento de sistemas se creará una opción en el PDT para que los usuarios puedan notificar una reposición o un ajuste de inventario	Bodega Secos	16/12/2019-7/01/2020	Líderes del proyecto-Departamento de sistemas	N/A	Implementado

Solución	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Quién?	Costo	Estado
Reforzar capacitación a usuarios para evitar malos despachos	Porque los usuarios deben reforzar temas relacionados al picking y así evitar malos despachos	Junto con los jefes operativos se realizará una capacitación a los usuarios para reforzar temas relacionados al Picking UMD y se tratará temas relacionados al nuevo indicador productividad.	Sala de capacitación	16/12/2019-7/01/2020	Líderes del proyecto/Jefes Operativos	N/A	Implementado
Elaborar mapa de calor para ABC de productos	Porqué permitirá un mayor control sobre el layout de la bodega	Se elaborará un layout de la bodega de secos, en el cual se tendrá un semáforo que indique con rojo, naranja o amarillo si ese SKU es de alta, media o baja rotación respectivamente.	Bodega Secos	16/12/2019-7/01/2020	Líderes del proyecto	N/A	Implementado
Retirar productos de alta rotación de zona POST	Porque así se disminuirán los recorridos en la zona POST	Se retirarán los productos de alta rotación de los pasillos 500 asignando los SKU's a la zona de pasillos 100	Bodega Secos	16/12/2019-7/01/2020	Líderes del proyecto/Analista Slotting	N/A	Implementado
Crear indicador que tome en cuenta la productividad por zona	Porque esto ayudará a identificar a los usuarios menos productos	Se elaborará un indicador para medir de forma apropiada la productividad de cada usuario y llevar un mejor control	Bodega Secos	16/12/2019-7/01/2020	Líderes del proyecto	N/A	Implementado
Crear modelo de asignación que minimice la distancia recorrida	Porqué actualmente el sistema genera los recorridos de manera aleatoria	Junto al departamento de Data Science se elaborará un modelo de optimización el cual asignará de forma adecuada los contenedores a los diferentes recorridos.	Bodega Secos	16/12/2019-7/01/2020	Líderes del proyecto/Departamento Data Science	N/A	Prototipado

Solución	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Quién?	Costo	Estado
Retirar parantes de pasillos 500 para disminuir la distancia en el recorrido	Porque los usuarios tienen que retroceder, para poder avanzar al siguiente pasillo	Se retirará parantes de los racks de ciertos pasillos de la zona de baja rotación para que usuarios puedan girar y así disminuir la distancia recorrida	Bodega Secos	16/12/2019-7/01/2020	Líderes del proyecto/Analista Slotting/Departamento Manteamiento	N/A	Implementado

2.3.4 Descripción de soluciones

2.3.4.1 Incluir en PDT opción para generar reposiciones y ajustes de inventario

Con el objetivo de reducir las esperas por generación de reposiciones y ajustes de inventarios, se creará opción en PDT para que el usuario pueda generar la solicitud sin necesidad de ir hasta la sección de cómputo o buscar a un analista de inventario para realizar el ajuste y también para que pueda realizar consultas de stock. Reduciendo la espera de 30 minutos a 5 minutos.



Figura 2.26 Pantalla PDT-1.
Dopico-Guerra, 2019.

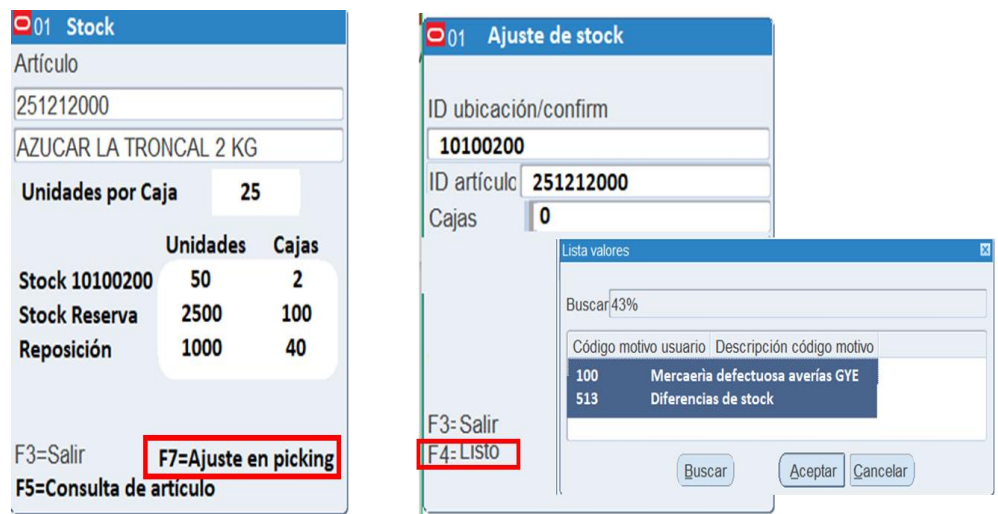


Figura 2.27 Pantalla PDT-2.
Dopico-Guerra, 2019.

2.3.4.2 Reforzar capacitación a usuarios para evitar malos despachos

Según datos históricos las zonas con mayor cantidad de malos despachos son el consolidado y UMD, por lo tanto, se realizará una capacitación con los usuarios con el fin de reforzar temas del picking, y evitar saldos ficticios.

2.3.4.3 Elaborar mapa de calor para ABC de productos

Con el objetivo de llevar un mejor control del layout, e identificar de una manera más visual la distribución del ABC de productos, se creará un mapa de calor, el cual deberá actualizarse semanalmente. Esto ayudará a la toma de decisiones sobre los SKU's.

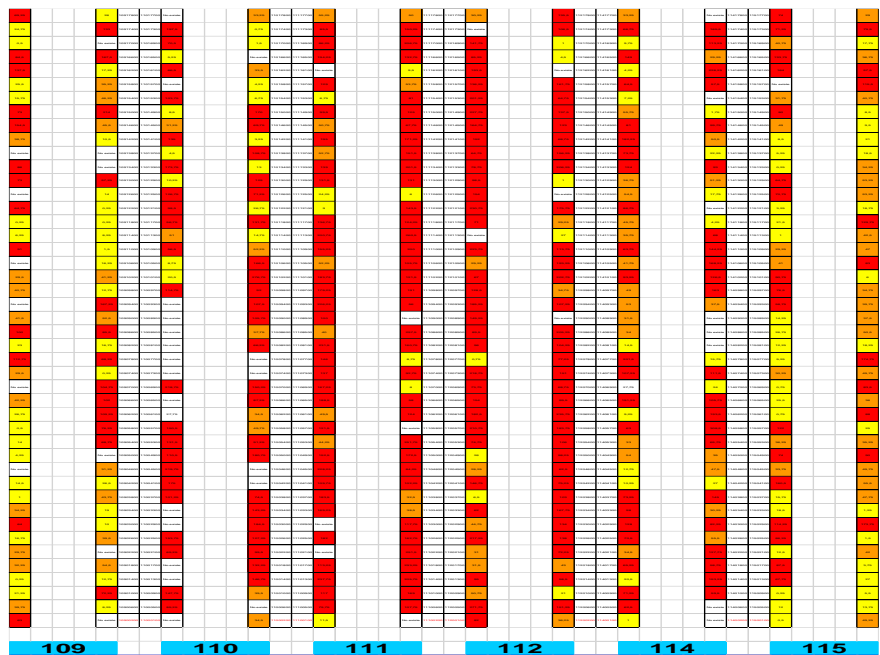


Figura 2.28 Mapa de calor.
Dopico-Guerra, 2019.

2.3.4.4 Retirar productos de alta rotación en la zona POST

Para aumentar la productividad se deben disminuir la cantidad de recorridos de la zona de baja rotación. Se moverán 66 artículos de tipo A, con este cambio se espera que se reduzcan un 55% los recorridos en la zona de baja rotación.

Tabla 2.22 Recorridos actuales vs Recorridos con mejora.
Dopico-Guerra, 2019.

Recorridos actuales	99
Recorridos con mejora (Sin productos Tipo A)	45
Reducción	55%

2.3.4.5 **Crear indicador que tome en cuenta la productividad de cada zona**

Se verificó que cada zona tiene su respectiva productividad y además no es justo comparar a los usuarios solo con la métrica bultos / hora. Por lo tanto, se creará un KPI el cual, evaluará cada recorrido que el usuario realice según una productividad estándar definida en cada zona.

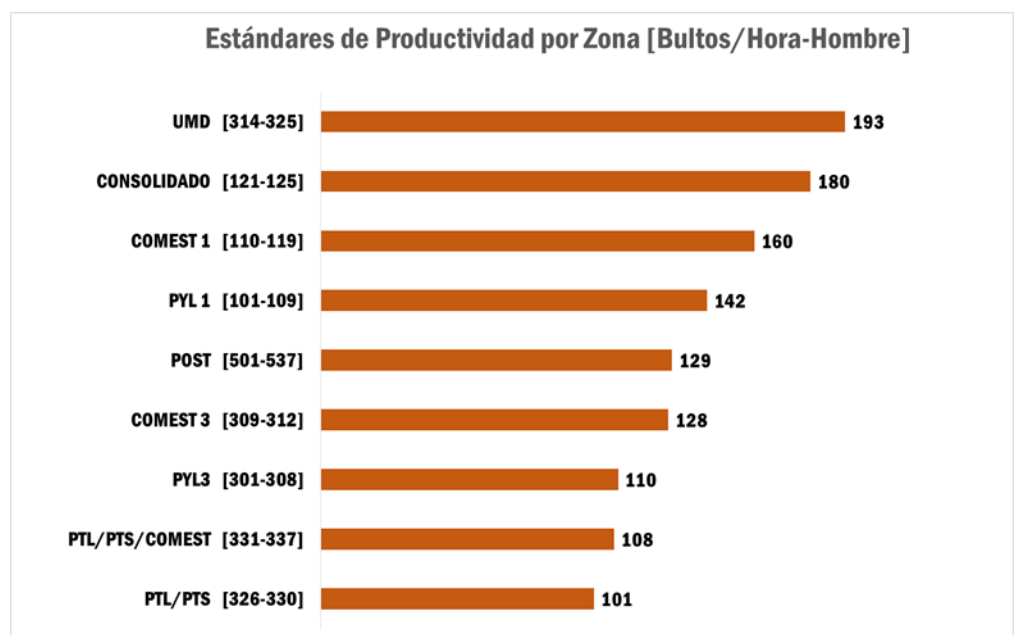


Figura 2.29 Estándares de productividad por zona.
Dopico-Guerra, 2019.

2.3.4.6 **Crear modelo de asignación que minimice la distancia recorrida.**

Actualmente, el sistema no genera una asignación óptima de contenedores a los recorridos, lo que produce pérdidas de productividad debido al transporte.

Por ejemplo, el 12 de noviembre, para la ola 42, a la zona PYL1 se crearon 17 contenedores. Estos contenedores se distribuyeron de la siguiente manera:

**Tabla 2.23 Contenedores por recorrido.
Dopico-Guerra, 2019.**

Etiquetas de fila	Pasillo Inicial	Pasillo Final
Recorrido 1		
2247512	1	4
2247513	2	7
2247514	5	7
2282662	6	7
Recorrido 2		
2169116	3	6
2169119	2	7
2247469	6	7
2247553	1	3
Recorrido 3		
2247771	2	3
2247772	4	7
2247773	1	7
2247774	2	6
Recorrido 4		
2282459	1	7
Recorrido 5		
2247661	1	4
2247662	2	4
2247664	1	3
2282659	4	7

Se puede observar (Tabla 2.23) que, en todos los recorridos, los usuarios deberán pasar por todos los pasillos.

**Tabla 2.24 Pasillos por recorrido.
Dopico-Guerra, 2019.**

Etiquetas de fila	Pasillo Inicial	Pasillo Final
Recorrido 1	1	7
Recorrido 2	1	7
Recorrido 3	1	7
Recorrido 4	1	7
Recorrido 5	1	7

Se creó un modelo de optimización no lineal, el cual, asignará los contenedores minimizando la distancia de los recorridos.

Para un problema de optimización se necesitó:

- Parámetros de entrada
- Índices
- Variables de decisión
- Función objetivo
- Restricciones

Parámetros de entrada:

Como inputs del modelo necesitamos c contenedores y el pasillo mínimo y máximo al que cada contenedor debe ir.

La cantidad de tareas será igual a la siguiente ecuación:

$$\text{Recorridos} = \begin{cases} \frac{c}{4}; & \text{Residuo} = 0 \\ \frac{c}{4} + 1; & \text{Residuo} \neq 0 \end{cases}$$

Ecuación 2 Cantidad de tareas

En este caso, a dividir 17 contenedores para 4, que es la capacidad máxima del equipo, nos dará como resultado 4.25, por lo que serían en total 5 recorridos.

Índices:

Se manejarán 2 índices:

i para los contenedores = 1,2,3, ..., c

j para los recorridos = 1,2,3, ..., t

Ecuación 3 Índices

Variables:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1; & \text{Se asigna contenedor } i \text{ a recorrido } j \\ 0; & \text{Caso contrario} \end{cases}$$

P_i: Pasillos del contenedor i

Ecuación 4 Variables del modelo

Función Objetivo:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{j=1}^t [\text{Max}(P_i * x_{i,j}) - \text{Min}(P_i * x_{i,j})], \text{ Para todo } i$$

Ecuación 5 Función Objetivo

Restricciones:

Se debe asignar máximo 4 contenedores por recorrido:

$$\sum_{i=1}^c x_{i,j} \leq 4; \quad \text{para todo } j$$

Ecuación 6 Restricción Contenedores

Se debe asignar un recorrido a cada contenedor:

$$\sum_{j=1}^t x_{i,j} = 1; \quad \text{para todo } i$$

Ecuación 7 Restricción recorridos

Variables de decisión binarias:

$$x_{i,j} = \{0,1\}$$

Ecuación 8 Variables Binarias

Se corrió el modelo en Python proporcionando los siguientes resultados.

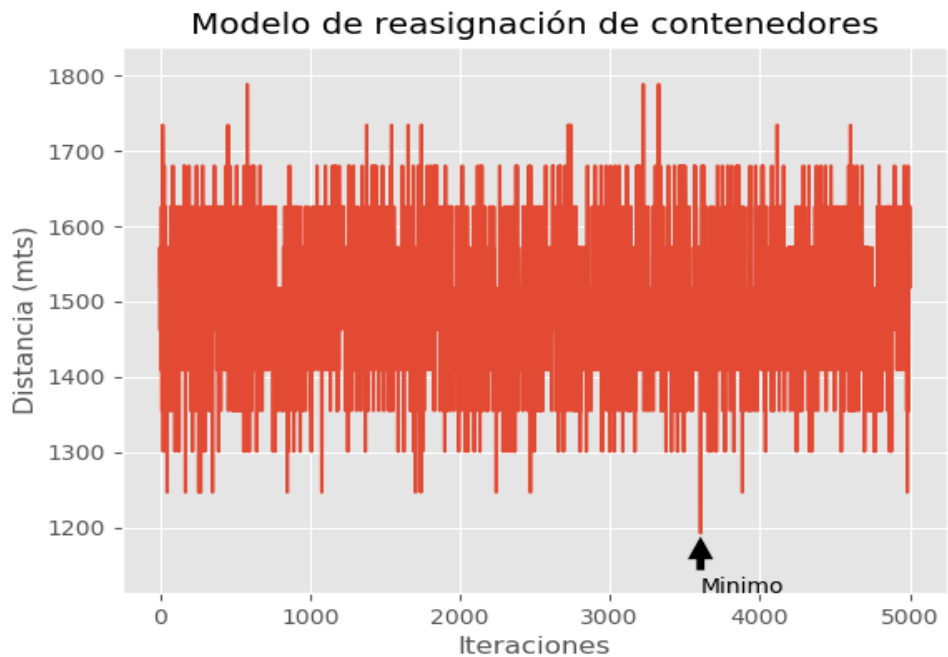


Figura 2.30 Gráfica de iteraciones.
Dopico-Guerra, 2019.

Tabla 2.25 Resultados modelo de asignación.

Dopico-Guerra, 2019.

Etiquetas de fila	Pasillo Inicial	Pasillo Final
Recorrido 1	5	7
Recorrido 2	1	7
Recorrido 3	1	4
Recorrido 4	2	6
Recorrido 5	4	7

Lo cual genera un total de 1192 metros (Reducción del 37%)

2.3.4.7 Retirar parantes de pasillos 500 para disminuir la distancia en el recorrido

Para que los usuarios puedan girar para dirigirse al siguiente pasillo, se retirarán los parantes. Los SKU's serán reubicados en

otros pasillos de la misma zona. Reduciendo así la distancia recorrida.

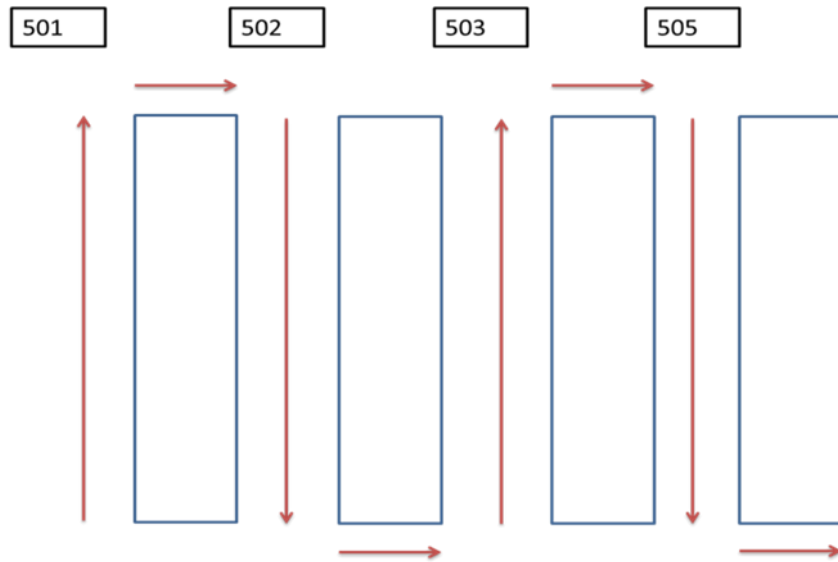


Figura 2.31 Mejora pasillos 500.
Dopico-Guerra, 2019.

2.4 Plan de control

Una vez implementadas/prototipadas las soluciones, se creó un plan de control (Tabla 2.26) con el fin de llevar un seguimiento de las variables del problema y asegurar que las soluciones se mantengan en el tiempo.

Tabla 2.26 Plan de control.
Dopico-Guerra, 2019.

N°	¿Qué voy a revisar?	¿Cómo/Dónde lo voy a revisar?	¿Por qué lo voy a revisar?	¿Quién lo va a revisar?	Frecuencia
1	Rendimiento por usuario	Reporte de productividad en Oracle BI	Determinar usuarios que necesitan reforzar conceptos de picking	Jefes Operativos	Semanal

N°	¿Qué voy a revisar?	¿Cómo/Dónde lo voy a revisar?	¿Por qué lo voy a revisar?	¿Quién lo va a revisar?	Frecuencia
2	Productividad por zona	Reporte de productividad en Oracle BI	Determinar las zonas que tienen mayor diferencia de productividad respecto al estándar	Jefes Operativos/Analista Slotting	Semanal
3	Productividad	Reporte de productividad en Oracle BI	Determinar tasa de despacho de toda la bodega	Jefes Operativos/Analista Slotting	Diaria
4	Porcentaje de Reposiciones por zona	Reporte de reposiciones en Oracle BI	Determinar zonas donde se realizan la mayor cantidad de reposiciones	Jefes Operativos/Analista Slotting	Diaria
5	ABC de Productos	Formato de mapa de calor/ABC de productos	Determinar productos de alta rotación que se encuentren en zona de baja rotación	Analista Slotting	Diaria
6	Consumo de sobre tiempo	Reporte de sobre tiempo	Determinar la cantidad de horas extras que se consumieron en un periodo	Analista de Datos	Mensual

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Soluciones implementadas

Una vez implementadas las soluciones, se analizaron datos de productividad desde el 8 al 21 de enero del 2020 (Figura 3.1). Se evidenció un aumento en la productividad de 146 bultos por hora hombre a 161 bultos por hora hombre.

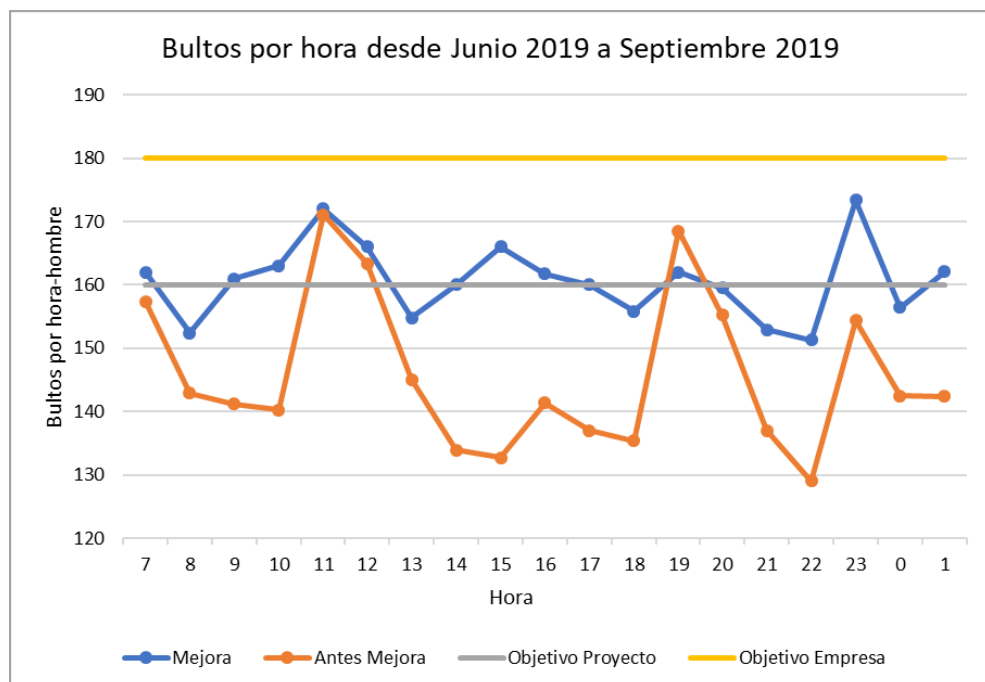


Figura 3.1 Mejoras en productividad de picking por hora

Dentro de las horas del problema enfocado (Tabla 3.1) se obtuvo un aumento promedio del 18% en la productividad.

Tabla 3.1 Mejora en horas de los problemas enfocados

Hora	Mejora	Antes	% Aumento
9	161	141	14%
10	163	140	16%
14	160	134	19%
15	166	133	25%
17	160	137	17%

Se realizó un análisis de capacidad para determinar la reducción de la variabilidad en el proceso (Tabla 3.2), obteniendo que, en el 55% de los recorridos totales, la productividad estará por encima del estándar (160 bultos por hora hombre).

Tabla 3.2 Análisis de capacidad en mejoras

Hora	CP antes de mejora	CP después de mejora
9	-0.22	0.04
10	-0.12	0.18
14	-0.32	0.05
15	-0.33	0.19
17	-0.29	-0.06

3.2 Solución prototipada

Para el modelo de asignación se corrió el programa para 8 zonas de la bodega (Tabla 3.3). Como resultado, en promedio la productividad aumento en un 27%.

Tabla 3.3 Modelo de asignación

Zona	Distancia anterior	Distancia final	Reducción	Productividad anterior	Productividad final	Incremento
Zona 1	2222.2	1463.4	34%	183	212	16%
Zona 2	2168	1246.6	43%	219	250	14%
Zona 3	2655.8	1680.2	37%	181	207	15%
Zona 4	806.4	422.4	48%	134	158	18%

Zona	Distancia anterior	Distancia final	Reducción	Productividad anterior	Productividad final	Incremento
Zona 5	345.6	307.2	11%	190	229	21%
Zona 6	1228.8	844.8	31%	197	340	73%
Zona 7	614.4	384	38%	230	323	40%
Zona 8	2919.7	1565.2	46%	166	190	15%

3.3 Ahorro en horas extras

Para calcular el ahorro en horas extras de las soluciones implementadas, se procedió a calcular los bultos promedios mensuales de la bodega (1584946 bultos) y se dividió para 161 bultos por hora hombre, para así, determinar la cantidad de horas hombre a utilizar, finalmente se multiplicó por el precio de la hora hombre (\$2.92) y se restó del costo de horas extras con la productividad actual (146 bultos por hora-hombre), dando como resultado un ahorro de aproximadamente \$35K.

Para la solución prototipada, se realizó el mismo procedimiento, sin embargo, se utilizó la productividad de 198 bultos por hora hombre, dando como resultado un ahorro aproximado de \$100K.

3.4 Ahorro en costo energético

El ahorro de energía eléctrica para las soluciones implementadas se lo calculó determinando la cantidad de horas mensuales trabajadas, dando un resultado de 428 horas, luego se procedió a restar de las horas consumidas con la productividad actual. Finalmente, se multiplicó las horas por el costo por hora de la energía (\$13.17), obteniendo un ahorro aproximado de \$2K anuales. Aplicando el mismo procedimiento para la solución prototipada, se obtuvo un ahorro aproximado de \$14K

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se alcanzó el objetivo del proyecto debido a que con las soluciones implementadas la productividad aumentó en un 10.3%.
- Se pronosticó un ahorro anual en horas extras de \$35K y un ahorro en energía eléctrica de \$2K anuales.
- Para el modelo de optimización (solución prototipada), la productividad aumentó en un 35.6% (198 bultos por hora-hombre).
- En el prototipo, se calculó un ahorro de \$100K anuales en horas extras y \$14K anuales en energía eléctrica.

4.2 Recomendaciones

- Mostrar el indicador de productividad en una pantalla en la bodega de secos, para que, los usuarios puedan ver en tiempo real su progreso durante la jornada.
- Mantener la capacitación los jefes operativos y usuarios en temas de productividad. 1
- Crear una zona en el área de alta rotación para ofertas y productos de temporada.

BIBLIOGRAFÍA

Cançado, T., Cançado, F. and Torres, M. (2019). Lean Six Sigma and anesthesia. *Brazilian Journal of Anesthesiology (English Edition)*, 69(5), pp.502-509.

Henn, S., Koch, S. and Wäscher, G. (2011). Procesamiento por lotes de pedidos en almacenes de selección de pedidos: una encuesta de enfoques de soluciones. *FEMM Working Papers*, [online] p.1. Available at: <https://search.proquest.com/docview/1698749329?accountid=171402> [Accessed 26 Jan. 2020].

Wiśnicki, B. and Kujawski, A. (2019). Method of determining new distribution centres within discount stores' networks. *Transportation Research Procedia*, [online] 39, pp.605-613. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146519301504> [Accessed 26 Jan. 2020].

Zowid, F., Babai, M., Douissa, M. and Ducq, Y. (2019). Multi-criteria inventory ABC classification using Gaussian Mixture Model. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), pp.1925-1930.

Gutiérrez Pulido, H. (2014). *Calidad y productividad* (3rd ed.). México, D.F.: McGraw Hill.