

Trabajo de grado en modalidad de aplicación

Propuesta de mejora para el diseño del almacenamiento y alistamiento de pedidos en Quala S.A. - Distrito Bogotá

Andrés Santiago Suárez^{a,c}, Daniela Castro Bulla^{a,c}, Rafael Danilo Ardila^{a,c},

Julian David Reyes^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del trabajo de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Resumen de diseño en Ingeniería

The activities that are being performed in a distribution center are divided into three big processes: storage, picking and dispatch. The most common objective within the systems of a distribution center is to maximize the service level, minimizing the distances that need to be traveled, with restriction on resources. This is done because reducing time to its minimum when getting orders ready is a need of any warehouse (Serna et al., 2010).

This study has been conducted on Quala S.A, a Colombian multinational company of massive consumer, which focuses in the manufacture and commercialization of products belonging to the categories of beverages, deserts and gelatins, cold refreshments, food, snacks, personal care and home care. Quala S.A. does all the supply operations for all of the clients located in Bogotá through a storage warehouse called Distrito Bogotá.

There is room for improvement in the processes carried out for the consolidation of orders in the pre-sale areas, specifically in the configuration of the storage warehouse and in the design of the picking process. This is noted because when there's a lot of activity in this area, around 2500 boxes must be dispatched daily and only 75% of the vehicles being dispatched leave within the established time frame.

Due to this current situation, the objective of this study is to design a proposal that looks for a way to improve the processes regarding the storage of finished products and the dispatch of vehicles within the expected time frame after order picking, so that it meets the needs of the *Preventa* area of Distrito Bogotá. To do this, a methodology that divides into 3 stages has been defined: for the first stage, information regarding the different variables involved during the process has been collected. Variables related with space, demand, inventory politics, personnel and resources involved and the main characteristics of each product category that may influence in the decision process of making this proposal better.

A stress factor was defined within the parameters involved, which corresponds to the difficulty associated with getting each product category ready. Through the hierarchical analytical process, a classification was made according to the effort made by each of the collaborators in the picking of each category. On the other hand, in order to eliminate subjectivity in the grouping of categories within order picking families, an analysis of conglomerates, or Hierarchical Cluster, was made to group categories together and look for maximum homogeneity within each family and the biggest difference between them as well.

With the previously recollected information, an optimization tool was designed in Visual Basic for Applications to determine the physical location of the finished product within the storage warehouse. This tool is based on a genetic algorithm, which, from a set of reasonable solutions, makes an iterative process of generation of children, allowing it to find a better solution that lets reduce the time needed to extract a finished product from the storage warehouse to the picking zone.

The optimization tool designed was tested for different instances, this was done to meet the expected performance requirements for its daily operating use in the *Preventa* area. In the same way, different performance test were carried out,

modifying parameters related to the demand, the grouping of families and the number of locations required for each reference, getting satisfactory results, without compromising the execution time nor the final results of the tool.

For the second stage, a diagnose for the picking process was made using a CPM diagram. This showed which activities were critical in the process and how they were susceptible to an opportunity for improvement. The point of intervening in these activities is to find a reduction of time in the execution times that may impact the total time of the picking process. Through the line balancing technique, an analysis was made about the work stations and the precedence of each activity involved, where the possibility of doing a parallel activity was identified, decreasing the number of work stations and the cycle time of this process.

Finally, to measure the impact of the implementation of the optimization tool for the storage within the warehouse and the improvement proposals in the picking process, a simulation of the situation was carried out in the Flexsim program, in which it could show that the execution time of the whole process is executed within the time defined for its realization, and that guarantees that 100% of the vehicles that serve the *Preventa* areas are dispatched within the time frame.

Key words: *Storage, picking, genetic algorithm, simulation, optimization.*

1. Justificación y planteamiento del problema.

A medida que más empresas buscan reducir costos y mejorar la productividad dentro de sus almacenes y centros de distribución, las operaciones de almacenamiento y alistamiento de productos en el almacén para el cumplimiento de órdenes (*picking*) han sido objeto de mayor escrutinio (Serna, 2010). Quala S.A. es una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de productos de consumo masivo cuya planta principal se encuentra ubicada en el sur de Bogotá.

Para la distribución de producto terminado, la empresa cuenta con dos grandes centros de distribución nacional, ubicados en el sur de Bogotá y Tocancipá, respectivamente. Estos centros de distribución, a su vez, abastecen a unos centros de distribución más pequeños denominados “Distritos” los cuales están ubicados en las principales ciudades del país. Uno de estos Distritos está ubicado en la ciudad de Bogotá, específicamente frente al centro de distribución nacional del sur de la ciudad. Dicho Distrito se denomina “**Distrito Bogotá**”.

La operación del Distrito Bogotá se divide principalmente por sus canales de distribución, en los que se encuentra el canal “Otros canales” en donde se atienden aproximadamente 500 Clientes mayoristas. Los despachos de pedidos a este canal se realizan durante el día, entre las 6:30 am hasta las 6:00 pm, para luego dar lugar al canal llamado “Preventa”. La Preventa es la encargada de atender a todas aquellas tiendas minoristas (aproximadamente 3600 clientes minoristas del canal tradicional) ubicadas en los barrios de Bogotá. La operación de este canal se divide en tres etapas: de 6:00 pm a 10:00 pm se realiza una revisión en el sistema de las existencias en bodega y los pedidos a atender, de 10:00 pm a 4:00 am se alistan los pedidos a despachar y finalmente, desde las 04:00 am hasta las 06:00 am se despachan los vehículos con los pedidos consolidados en tres ventanas de tiempo, de una hora cada una.

Serna (2010) apunta que, en la logística de distribución, con el fin de servir a los clientes, las empresas tienden a aceptar las órdenes de pedido y cumplirlas en ventanas de tiempo muy reducidas, por lo que el tiempo disponible para la preparación y para el despacho se reduce. En el Distrito Bogotá, el volumen diario para la preventa es de 2500 cajas en promedio y la ventana de tiempo de despacho disponible para el cargue de los camiones es de solamente 3 horas.

En Quala S.A. el canal de Preventa es considerado como uno de los canales de venta más importantes, ya que su nicho de mercado al cual le apunta la mayoría de sus productos es el consumidor popular local. Los ingresos que Quala recibe por este canal son de contado, por lo que, es una fuente importante para mantener un

flujo de caja disponible para la compañía. Por esta razón, una de las líneas estratégicas de Quala es asegurar que todos los clientes de la Preventa sean abastecidos oportunamente.

Dentro del Distrito Bogotá, existe un problema asociado al porcentaje de rutas que se despachan dentro de las ventanas de tiempo establecidas. En la ilustración 1 se puede observar el porcentaje de la última medición de este indicador de rutas despachadas a tiempo para el canal “Otros canales” y el canal de Preventa.

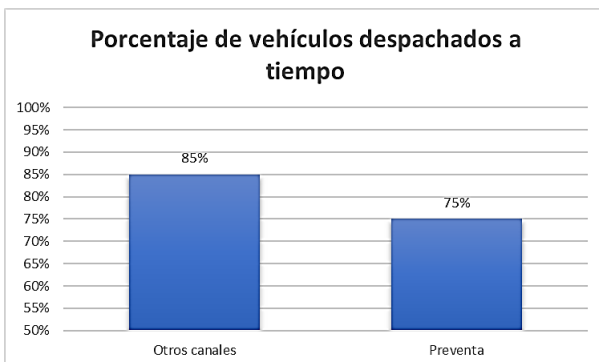


Ilustración 1 - Porcentaje de rutas despachadas a tiempo. Datos tomados del Distrito Bogotá

Luego de realizar un análisis con los líderes de operación del Distrito Bogotá, se determinó que el porcentaje de vehículos despachados a tiempo observado en la ilustración 1 para el canal de Preventa, se atribuye principalmente a los procesos de almacenamiento y alistamiento, tal como se explica a continuación:

- **Proceso de almacenamiento.**

Mohsen y Hassan (2002) resaltan que diseñar la distribución física (*Layout*) de producto terminado en una bodega de almacenamiento es una tarea compleja ya que el número de decisiones a tomar es muy grande y muchas de ellas involucran problemas combinatorios, los cuales son difíciles de resolver óptimamente. En el Distrito Bogotá, la configuración actual de la bodega de almacenamiento no tiene en cuenta un método establecido para la ubicación del producto terminado, el cual permita que los recorridos que realizan los colaboradores para extraer el producto hacia la zona de alistamiento minimicen el tiempo de ejecución de esta actividad, retrasando los tiempos de la operación de la Preventa.

- **Proceso de alistamiento.**

Škerlič (2017) apunta que el proceso de alistamiento es uno de los más intensivos en mano de obra y tiempo en la logística interna, que representan más del 50% de los costes totales del almacén. Esto se debe a que esta actividad implica una gran cantidad de manipulación manual. Para el canal de Preventa, la complejidad de la operación es mayor, ya que los pedidos se pueden solicitar en diferentes configuraciones de producto (unidad, display o caja), mientras que en otros canales sólo se alistan cajas de producto. Esta diferencia en la configuración de pedidos de la Preventa y otros canales, hace que la productividad (número de cajas alistadas por hora) en la Preventa sea menor que Škerlič (2017) apunta que el proceso de alistamiento es uno de los más intensivos en mano de obra y tiempo en la logística interna, que representan más del 50% de los costes totales del almacén. Esto se debe a que esta actividad implica una gran cantidad de manipulación manual. Para el canal de Preventa, la complejidad de la operación es mayor, ya que los pedidos se pueden solicitar en diferentes configuraciones de producto (unidad, display o caja), mientras que en otros canales sólo se alistan cajas de producto. Esta diferencia en la configuración de pedidos de la Preventa y otros canales, hace que la

productividad (número de cajas alistadas por hora) en la Preventa sea menor que Otros canales, tal como se presenta en la ilustración 2:

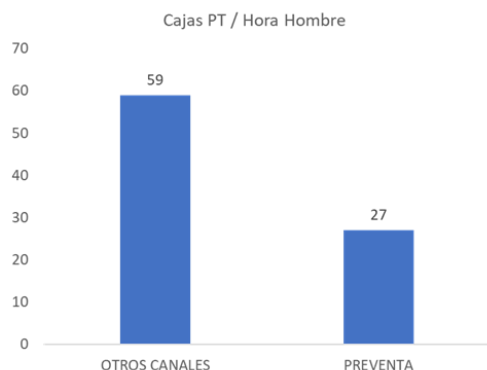


Ilustración 2 - Cajas alistadas por hora hombre. Datos tomados de los indicadores del Distrito Bogotá

A partir del análisis realizado anteriormente, se pudo observar que esta deficiencia en la productividad en el canal de Preventa genera un mayor tiempo del alistamiento y está asociada principalmente a la forma en la que actualmente se realiza la asignación de tareas y al orden de ejecución de las mismas, las cuales generan un uso ineficiente de los recursos disponibles para el proceso.

Chackelson et al (2013) apunta que la demanda de los clientes está aumentando su complejidad de forma constante en los últimos años, debido a las exigencias en cuanto a la reducción en los tiempos de entrega de los pedidos y al aumento en las expectativas de recibir los pedidos consolidados al 100%, es decir, que el cliente reciba todo lo que ordenó. Por lo anterior, es relevante diseñar un proceso de almacenamiento y alistamiento que responda a todas las características de la operación, que minimice los tiempos de consolidación de pedidos para el despacho del 100% de los vehículos dentro de las ventanas de tiempo, así como maximizar el porcentaje de pedidos completos.

Desde la dirección del área de logística de Quala S.A. se ha expresado la necesidad de abordar este problema, y la importancia de desarrollar una propuesta de mejora en los procesos de almacenamiento y alistamiento de pedidos. Dicha propuesta, debe estar centrada en el aumento de los vehículos despachados a tiempo, de la cual se desprende la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo mejorar los procesos de distribución y ubicación de producto terminado dentro de la bodega de almacenamiento y el alistamiento de pedidos, para garantizar el despacho de los vehículos dentro de las ventanas de tiempo para atender la demanda del canal de Preventa del Distrito Bogotá?

2. Antecedentes

Una actividad que siempre es susceptible al estudio de optimización de los recursos, y por supuesto direccionado a reducir costos, es la zona de almacenamiento de la empresa y con ello el sistema de alistamiento de pedidos (*picking*) inmerso en el mismo (Serna, 2010). Sin embargo, Chackelson et al (2013) apunta que, hasta el momento, no se ha llegado a un consenso en relación con las herramientas necesarias para llevar adelante el diseño óptimo de una instalación de un almacén. En la práctica, este hecho implica que la solución del diseño final se seleccione con base a la intuición, al juicio, y principalmente a la experiencia de cada diseñador.

Las oportunidades de mejora en el Distrito Bogotá han sido objeto de numerosos estudios que buscan una propuesta de diseño para el almacenamiento y alistamiento de pedidos que optimice los flujos de material, disminuya los costos y aumente la eficiencia de la operación. De acuerdo con lo anterior, se han analizado diferentes casos que reducen la toma de decisiones basada en criterios propios que generan ambigüedades en la operación e incluyen diferentes características que pueden ser aplicadas al caso de estudio, como puede observarse en la Tabla 1.

AUTOR	CARACTERÍSTICAS
(Serna et al, 2010)	<ul style="list-style-type: none"> - Aborda el problema del diseño de la bodega de almacenamiento. - Hace uso de técnicas matemáticas exactas. - Los pedidos siguen una distribución de probabilidad.
(Chackelson et al, 2013)	<ul style="list-style-type: none"> - Aborda el problema del diseño de la bodega de almacenamiento. - Utiliza una técnica cualitativa para considerar todas las decisiones conjuntas del almacenamiento.
(Mohsen et al, 2002)	<ul style="list-style-type: none"> - Aborda el problema del diseño de la bodega de almacenamiento. - Propone una serie de pasos que determina un diseño eficiente en el almacén.
(Gunasekaran et al, 1999)	<ul style="list-style-type: none"> - Aborda el problema del diseño de la bodega de almacenamiento y de la recolección de pedidos (<i>Picking</i>). - Utiliza un modelo cualitativo basado en las metodologías <i>Just In Time (JIT)</i> y <i>Total Quality Management (TQM)</i>. - Tiene en cuenta las condiciones ergonómicas de los colaboradores.
(Petersen et al, 2005)	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza simulación Monte Carlo para un manual de <i>picking</i> en estanterías.
(Karagiannaki et al, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> - Incorpora un modelo de simulación que identifica los factores contextuales claves que parecen depender del vínculo entre la identificación por radio frecuencia (RFID) y el rendimiento del almacén.
(Riaño & Palomino, 2015)	<ul style="list-style-type: none"> - Implementación del proceso analítico jerárquico (AHP) para reducir la brecha entre la subjetividad y la objetividad, que puede surgir a la hora de tomar decisiones al momento de categorizar un conjunto de alternativas.
(Peña et al, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> - Aplica técnicas de balanceo de línea para equilibrar las cargas de trabajo en una bodega de almacenamiento, asegurando un balance óptimo de la línea para que el flujo sea continuo y uniforme, buscando aumentar la velocidad del proceso.

Tabla 1 - Principales características de los autores consultados.

Con base en los autores destacados anteriormente y las características que se pueden considerar para la propuesta de solución al problema del Distrito Bogotá, en la Tabla 2 se describen diferentes metodologías utilizadas para escenarios similares.

AUTOR	METODOLOGÍA UTILIZADA	CONCLUSIÓN
(Serna et al, 2010)	<p>Estudia el modelo propuesto por Bassan (1980), el cual incluye como función objetivo la determinación del número óptimo de espacios y de estantes necesarios para el almacenamiento, buscando minimizar las áreas y espacios requeridos.</p> <p>En el modelo, se realiza una simulación que permita generar los pedidos mediante una distribución de probabilidad y poder comparar el escenario propuesto frente al actual.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se logra obtener un ahorro físico y económico, además de una mejora en la eficiencia del sistema de distribución y <i>picking</i>. ✓ Simular los escenarios estudiados permite predecir el funcionamiento y el desempeño de la solución propuesta.
(Chackelson et al, 2013)	<p>Se selecciona el estudio Delphi, el cual está compuesto por 5 diagramas en forma de estrella, uno por cada proceso de flujo de material. El objetivo es contemplar las decisiones conjuntas para la ubicación, el almacenaje y el alistamiento.</p> <p>Finalmente se diferencian aquellas alternativas relacionadas con operativas y de forma organizativa, con respecto a decisiones relativas al nivel tecnológico o las características del entorno.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es un modelo que permite tomar en consideración todas las restricciones del entorno y es muy flexible con las múltiples soluciones que ofrece.
(Mohsen et al, 2002)	<p>Se proponen 14 pasos para lograr un diseño de layout eficiente para las operaciones a realizar. Estos 14 pasos son:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Especificar el propósito del almacén •Pronosticar y analizar la demanda esperada •Determinar los niveles de inventario •Determinar las políticas de operación •Formación de clases •Departamentalización •División del almacenamiento •Diseño del manejo de productos, almacenamiento y sistemas de clasificación •Diseño de pasillos •Requerimientos de espacio para almacenar •Diseño de <i>picking</i> •Determinar localización de los muelles de carga y despacho •Organización del almacenamiento minimizando recorridos •Formación de zonas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se facilita la tarea de organizar y diseñar los procesos a realizar en el almacén, además de resaltar los aspectos más importantes que se deben considerar en el diseño tanto de la zona de almacenamiento como en la zona de <i>picking</i>.
(Gunasekaran et al, 1999)	<p>La metodología JIT hace referencia a la demanda y a las políticas de bajos inventarios, en donde se busca maximizar la confiabilidad en las operaciones desarrolladas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Son metodologías que requieren de un alto compromiso para su correcta implementación.

	TQM busca mejorar la eficacia y el control de calidad en todas las operaciones de alistamiento y despacho realizadas, así como las condiciones ergonómicas de los colaboradores, las cuales afectan la productividad.	✓ Implementar TQM es una herramienta muy útil para mejorar las condiciones ergonómicas, las cuales pueden representar una mejora sustancial en la productividad del almacén.
(Petersen et al, 2005)	Utiliza la simulación de Monte Carlo en un almacén de estantería manual nivel bajo, en un área con diez pasillos de <i>picking</i> y pasillos cruzados delanteros y traseros para permitir acceso a todos los pasillos de <i>picking</i> . Los pasillos permiten la recogida de ambos lados de los pasillos y son lo suficientemente anchos como para permitir viajes bidireccionales, minimizando el impacto potencial de congestión. Busca evaluar estrategias en términos de distancia de viaje y el tiempo de cumplimiento para completar una orden. Introduce varias estrategias de asignación de almacenamiento utilizando el concepto de <i>picking</i> de "zona dorada", que almacena unidades de almacenamiento (SKU) de alta demanda a la altura de la cintura y los hombros del recogedor.	✓ La popularidad, el volumen de negocios y el índice de cubo por orden (COI) generan mejores resultados entre las medidas de <i>slotting</i> . ✓ Los resultados del estudio de simulación muestran que las estrategias de asignación de almacenamiento de la zona generaron ahorros significativos en el tiempo de cumplimiento de los pedidos en comparación con las políticas de almacenamiento que ignoran el concepto de zona dorada.
(Karagiannaki et al, 2011)	Diseño de investigación de dos fases. Se trata de un estudio exploratorio y, por lo tanto, gran cantidad de iteración entre los estudios de caso y la literatura. El objetivo era identificar factores contextuales importantes que pueden moderar el impacto de la RFID. La segunda fase incorporó modelos de simulación. Este fue un estudio confirmatorio. El objetivo fue desarrollar dos modelos de simulación de los casos de la fase anterior, y como resultado, verificar los efectos de los factores de un contexto particular sobre el rendimiento del proceso.	✓ Una implementación RFID alivia los efectos de digitalización y verificación, automatizando los procesos de almacén y reduciendo los errores, la intervención laboral y el tiempo requerido para verificar cualquier discrepancia.
(Riaño & Palomino, 2015)	Implementación del proceso analítico jerárquico para poder categorizar un número determinado de elementos por medio de diferentes criterios, los cuales son características que pueden hacer más deseable un elemento sobre otro. Así mismo, estos criterios deben determinar que tanto influyen sobre cada elemento, cuantificando el grado de importancia de cada uno.	✓ A partir de un número determinado de elementos y criterios de asignación, el AHP permite establecer una jerarquía objetiva en estos elementos, estableciendo un peso de importancia a cada uno
(Peña et al, 2016)	Desarrollo de un estudio de tiempos en el área de almacenamiento para mejorar el desempeño en las actividades de almacenamiento y alistamiento del producto, mediante la aplicación de técnicas de balanceo de línea. El estudio se enfoca en analizar el exceso de carga de trabajo de cada una de las actividades, y a partir de esto, se desarrolla un modelo matemático lineal minimizando el tiempo de ciclo, impactando el tiempo total de ejecución del proceso de alistamiento y reduciendo las cargas de trabajo de los colaboradores. Asimismo, por medio del análisis realizado se encontró que una alternativa para disminuir el tiempo total del proceso es implementando puestos de trabajo paralelamente, lo cual permite ejecutar tareas al mismo tiempo, disminuyendo el requerimiento total de horas hombre en el proceso.	✓ Las técnicas de balanceo de línea son aplicables a cualquier tipo de problema que pretenda lograr un equilibrio de cargas de trabajo ✓ Este estudio confirma que las actividades involucradas en el proceso de alistamiento son las que demandan más tiempo y requieren de una mayor intervención de mano de obra, convirtiendo este proceso en el cuello de botella ✓ Una forma de mejorar el proceso de alistamiento es encontrar un equilibrio en las cargas de trabajo, lo cual se puede lograr asignando estaciones en paralelo, lo que al final impactará en la disminución del requerimiento total de horas hombre

Tabla 2 - Metodologías utilizadas por los autores consultados.

Teniendo en cuenta las metodologías descritas anteriormente que buscan reducir los tiempos y costos en los centros de almacenamiento y distribución, existen diferentes aspectos aplicables para el caso del Distrito Bogotá. La aplicación del proceso analítico jerárquico resulta ser una herramienta muy importante a la hora de definir la importancia que tiene cada una de las categorías de producto almacenadas en la bodega, estableciendo diferentes criterios para una toma de decisiones acertada en la configuración del *layout*.

La técnica del balanceo de línea se considera una propuesta viable para su implementación en este caso de estudio, ya que, al tener un proceso de alistamiento con varias actividades involucradas, se puede hacer

un análisis de las cargas de trabajo y las precedencias de las actividades, para determinar una propuesta de mejora que disminuya el tiempo total de ejecución de este proceso.

3. Objetivos

Diseñar una propuesta de mejora en los procesos de almacenamiento de producto terminado y alistamiento de pedidos, para garantizar el despacho de los vehículos dentro de las ventanas de tiempo para atender la demanda del canal de Preventa del Distrito Bogotá.

- Diseñar una herramienta que determine la ubicación física de producto terminado dentro de la bodega, minimizando la distancia recorrida desde la bodega de almacenamiento hasta la zona de alistamiento, teniendo en cuenta las políticas del manejo de metas del Distrito Bogotá.
- Proponer una mejora en el proceso de alistamiento que minimice los tiempos de consolidación de pedidos, así como maximizar el porcentaje de pedidos completos.
- Simular el escenario propuesto, para medir el impacto generado en términos de reducción de tiempos de consolidación de pedidos y el aumento del porcentaje de vehículos despachados a tiempo.

4. Metodología

La metodología propuesta para abordar los objetivos identificados para los procesos de almacenamiento y alistamiento se presenta a continuación:

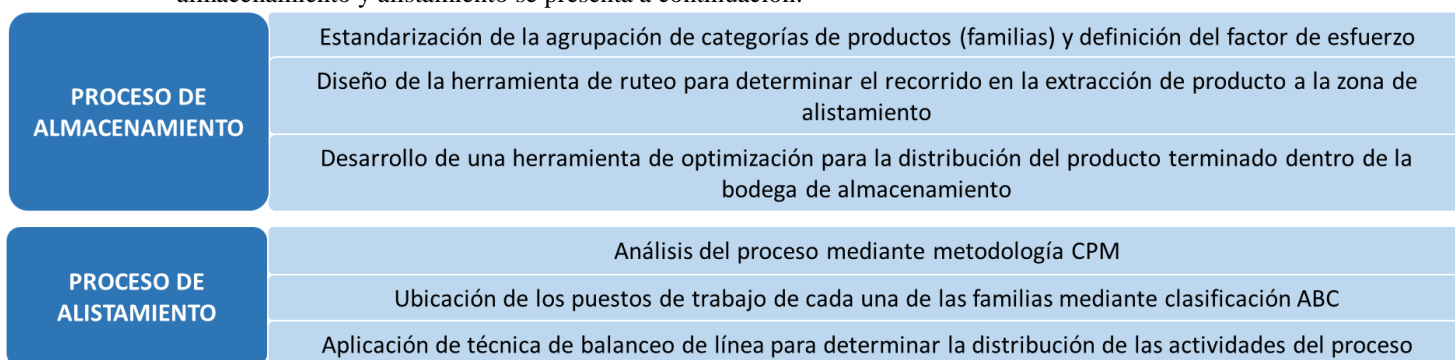


Ilustración 3 - Diagrama de la metodología implementada para los procesos de almacenamiento y alistamiento

Posteriormente, se realizó una simulación del escenario propuesto para evaluar el impacto de las mejoras en los procesos de almacenamiento y alistamiento con el porcentaje de vehículos despachados a tiempo.

4.1. Proceso de almacenamiento

Inicialmente, se definieron los parámetros de entrada del proceso, analizando el contexto y la necesidad de una propuesta de mejora, los cuales se muestran a continuación:

PARAMETRO	DEFINICION	INFORMACION RECOPIlada
Macro categoría	Conjunto de categorías que hacen parte de un mismo sector en el mercado (Ejemplo: Alimentos, cuidado personal, RTD)	Nombre de la macro categoría
Categorías	Marcas de producto terminado, fabricados y distribuidos por Quala S.A.	Nombre de la categoría
		Cantidad de categorías
		Macro categoría
Referencias	Corresponde a las diferentes formas de venta de una categoría, en función de las características asociadas a su tamaño y contenido.	Nombre de la referencia
		Categoría a la que pertenece
		Binario que determina si la referencia se puede remontar sobre otra estiba de la misma referencia

		Cantidad de cajas por estiba
		Volumen por caja (cm ³)
		Número de ubicaciones necesarias dentro de la bodega
Demanda	Cantidad en cajas por día de cada una de las referencias	Número de cajas demandadas de cada una de las referencias por día
		Número de ubicaciones en la bodega
		Binario que determina si en la ubicación se puede remontar una estiba sobre otra
Ubicaciones	Espacio dentro de la bodega donde se puede almacenar una estiba de producto terminado	Referencia almacenada actualmente en cada ubicación
		Número de cada ubicación dentro de la bodega
		Número de nodos en la bodega
Nodos	Conjunto de ubicaciones que se encuentran en la misma zona de la bodega	Distancia entre cada uno de los nodos y la zona de <i>picking</i>
Productividad	Cantidad de cajas alistadas por minuto	Productividad de cada una de las categorías

Tabla 3 - Parámetros de entrada

Los datos de entrada de la tabla 3 fueron obtenidos por medio de la información suministrada por los líderes de operación del Distrito Bogotá. Sin embargo, en el análisis de la información, se evidenció una falta de estandarización en las familias de producto que están definidas actualmente, ya que estas fueron construidas por los líderes de operación sin tener un criterio específico para ello. Adicionalmente, de acuerdo con los parámetros asociados a las referencias y categorías, se evidenció que no se tiene un criterio de diferenciación entre cada uno de ellos, de acuerdo a la dificultad que representa para los colaboradores durante la actividad de extraer el producto de la bodega hacia la zona de alistamiento.

4.1.1. Familias

Las familias corresponden a grupos de categorías con características similares en su forma, tamaño, peso y productividad. El objetivo de agrupar las categorías en familias es principalmente definir un criterio para la ubicación de las categorías en la bodega, así como el recorrido que deben hacer los colaboradores para extraer el producto desde la bodega hasta la zona de alistamiento y reducir el tiempo de alistamiento de los pedidos del canal de la Preventa.

Actualmente, los líderes de operación seleccionan las familias de acuerdo a la experiencia, haciendo esta agrupación de productos de forma empírica. Sin embargo, para estandarizar la agrupación de las categorías en familias, se realizó un análisis de conglomerados o *cluster* jerárquico. Según Vilà (2014) esta técnica busca agrupar elementos o variables tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre ellos. Para esto, la representación gráfica que mejor ayuda a interpretar el resultado de un análisis de conglomerados es un dendrograma.

Inicialmente, los datos fueron estandarizados, para eliminar el efecto de la escala de medida, y así poder aplicar el análisis sobre variables que presentan similares valores medios y desviaciones estándar, lo cual facilita la interpretación (Terrádez, 2011). Los datos fueron estandarizados de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Donde:

- Z = Dato estandarizado
- X = Dato recopilado
- μ = Media de los datos
- σ = Desviación estándar de los datos

A partir de estos datos, se realizó un análisis de conglomerados por cada macro categoría y definir las familias a las que pertenece cada categoría (ANEXO 02 – ANÁLISIS POR CONGLOMERADOS PARA CREACIÓN DE FAMILIAS). Los dendrogramas obtenidos de este análisis se muestran a continuación:

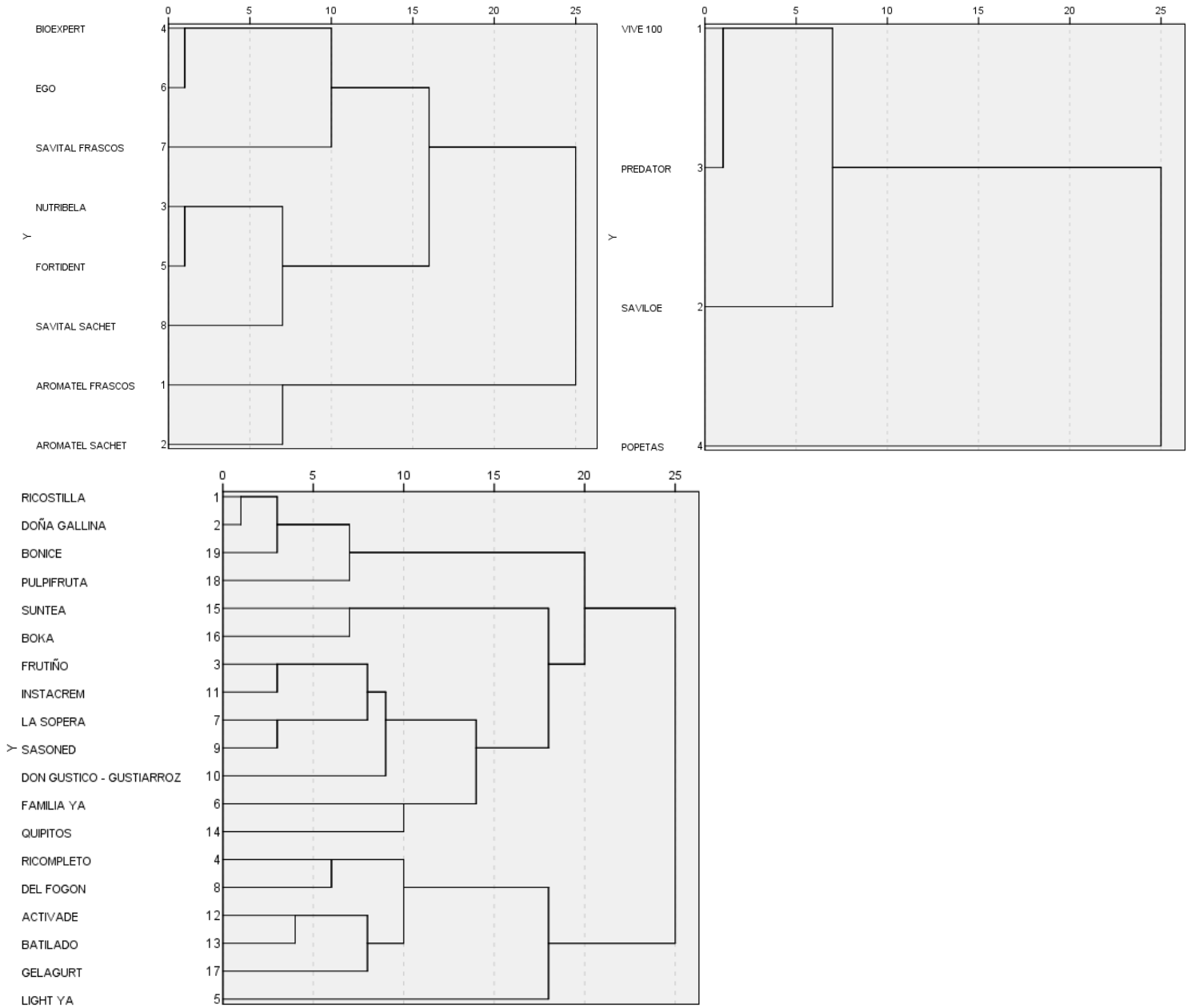


Ilustración 4 – Análisis de conglomerados – dendrograma por macro categoría

Una vez se obtuvieron los dendrogramas de cada una de las macro categorías, se ajustó el punto de corte de todas las familias de acuerdo con la demanda semanal de cada una de las categorías, validando que el tiempo de alistamiento no exceda el tiempo máximo disponible (240 minutos) para consolidar todos los pedidos, garantizando que esta actividad no genere demoras en el proceso ni afectaciones en el porcentaje de vehículos despachados a tiempo.

$$\text{Tiempo Alistamiento Familia } i = \sum_{\text{Categorías Fam } i} \text{Productividad} * \text{Demanda Promedio Diario de la semana } K$$

De acuerdo con esto, las familias cuyo tiempo de alistamiento superen los 240 minutos (4 horas) pero sin exceder los 480 minutos (8 horas) se asignará un operario adicional para el alistamiento de esta familia. Si el tiempo de alistamiento es superior a las 8 horas, la familia deberá dividirse para ajustar el tiempo de alistamiento y garantizar que todos los pedidos se alisten dentro del tiempo disponible. Este análisis se realizó a partir del ANEXO 07 – ANÁLISIS POR CONGLOMERADOS PARA CREACIÓN DE FAMILIAS – DEFINICIÓN DE FAMILIAS.

De acuerdo con el análisis realizado por medio del *Cluster jerárquico*, se definieron las siguientes 9 familias de producto, las cuales serán utilizadas para la ubicación de las categorías en la bodega, así como en el recorrido que deben hacer los colaboradores para extraer el producto desde la bodega hasta la zona de alistamiento y en el proceso de alistamiento de los pedidos del canal de la Preventa.

<i>FAMILIAS PREVENTA DISTRITO BOGOTÁ</i>								
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
RICOSTILLA	LA SOPERA	FRUTUÑO	RICOMPLETO	VIVE 100	POPETAS	BIOEXPERT	NUTRIBELA	AROMATEL FRASCOS
DOÑA GALLINA	SASONED	LIGHT YA	DEL FOGON	SAVILOE		EGO	FORTIDENT	AROMATEL SACHET
SUNTEA	DON GUSTICO - GUSTIARROZ	FAMILIA YA	ACTIVADE	PREDATOR		SAVITAL FRASCOS	SAVITAL SACHET	
BOKA	INSTACREM		BATILADO					
PULPIFRUTA	QUIPITOS		GELAGURT					
BONICE								

Tabla 4 - Familias Preventa Distrito Bogotá

4.1.2. Factor de esfuerzo

El dato correspondiente al factor de esfuerzo hace referencia a la dificultad que tiene para los colaboradores extraer determinado producto desde la bodega de almacenamiento a la zona de alistamiento en términos del tiempo que invierten en esta actividad. El objetivo de estimar un factor de esfuerzo para cada categoría es asignar una holgura en el tiempo de extracción de las categorías desde la bodega hasta la zona de alistamiento.

Para definir los valores de dificultad de cada una de las categorías se utilizó inicialmente el método Delphi, en donde se indagó a algunos de los alistadores del proceso cuáles de las categorías que alistan tienen mayor dificultad en relación con las características de los productos, y de esta forma consumen más tiempo del proceso, independientemente de factores variables como la demanda.

El método Delphi sirvió de apoyo para desarrollar el proceso analítico jerárquico que define el nivel de esfuerzo de cada una de las categorías alistadas en la Preventa. El proceso analítico jerárquico es una técnica multicriterio que busca reducir la brecha entre la subjetividad y la objetividad, cuando de tomar decisiones complejas se trata. El problema de decisión se modela mediante una jerarquía en cuyo vértice superior está el principal objetivo del problema, meta a alcanzar; en la base, se representan los criterios con base en los cuales se toma la decisión y en los niveles intermedios se hallan las posibles alternativas a evaluar (como se cita en

Riaño, 2015). En la ilustración 6 se observa la estructura del proceso analítico jerárquico definida para este caso.

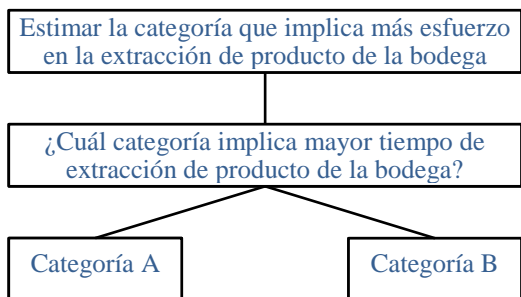


Ilustración 5. Proceso Analítico Jerárquico Esfuerzo por categoría

En esta situación, en el proceso analítico jerárquico se utiliza un tipo de comparación de preferencia o desempeño ya que se están comparando diferentes alternativas y se quiere establecer si una alternativa es mejor que la otra en relación con un aspecto dado, o si el encuestado prefiere una alternativa sobre otra en relación con un aspecto dado. Sean A y B dos alternativas dadas (categorías de productos) que se quieren comparar respecto al aspecto F (tiempo de extracción de la bodega). El desempeño de la categoría A comparada con la categoría B con respecto al aspecto F puede tomar los siguientes valores (Castillo, 2006):

Escala - Valor	Interpretación
7	Alistar A es marcadamente más demorado de alistar que B
5	Alistar A es más demorado de alistar que B
3	Alistar A es ligeramente más demorado de alistar que B
1	Alistar A es igual de demorado que alistar B
1/3	Alistar B es ligeramente más demorado de alistar que A
1/5	Alistar B es más demorado de alistar que A
1/7	Alistar B es marcadamente más demorado de alistar que A

Tabla 5. Valores de la matriz de comparación

En el ANEXO 04 – CÁLCULO FACTOR DE ESFUERZO se exponen todos los cálculos realizados para definir el esfuerzo por categoría. Para cumplir este objetivo se siguieron seis etapas: Riaño (2015) afirma que “en la primera etapa, con los valores otorgados por los encuestados se construyó una matriz de decisión o comparación; en la segunda etapa se normalizaron los datos de la matriz de comparación; en la tercera se calcularon los valores propios de las decisiones; en la cuarta se priorizaron los criterios; en la quinta se calculó el máximo valor propio; en la sexta se calculó la consistencia de las decisiones”

Con el dato obtenido para el máximo valor propio en la quinta etapa fue posible calcular la razón de consistencia (RC), dicha razón determina si los encuestados han sido consistentes en sus evaluaciones ya que cuando la razón de consistencia es inferior a 0.1, ésta indica que los juicios están dentro de los límites recomendados, son consistentes y se debe continuar con el proceso (como se cita en Riaño, 2015).

Para este caso la razón de consistencia es igual a 0.18, este valor a pesar de no cumplir con la restricción anterior se utiliza para continuar el proceso analítico jerárquico ya que la diferencia se otorga a la forma empírica con la que las personas ejecutan la labor de extracción de producto de la bodega.

Finalmente, por medio de la jerarquización fue posible clasificar las categorías de acuerdo al esfuerzo que hacen los colaboradores en la extracción de producto desde la bodega hasta la zona de alistamiento. Las categorías con un mayor factor de esfuerzo son Frutiño, Familia Ya y Aromatel Sachet. El vector de esfuerzo final tomó valores entre $1 \leq \text{Esfuerzo categoría} \leq 2$ siendo 1 la categoría con menor esfuerzo y 2 la categoría un un mayor factor de esfuerzo.

4.1.3. Herramienta de ruteo

Con el objetivo de reducir el tiempo de extracción del producto desde la bodega de almacenamiento hasta la zona de alistamiento, se diseñó una herramienta que determine el recorrido que deben realizar cada uno de los colaboradores en la realización de esta actividad. Se diseñó la herramienta de optimización en *Visual Basic for Applications* de Microsoft Excel (ANEXO 03 – HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN PARA EL ALMACENAMIENTO DE PT - PREVENTA DISTRITO BOGOTÁ). Con el objetivo de minimizar la distancia total recorrida, y el tiempo total de ejecución de esta actividad, se calculó la función objetivo para la configuración de la bodega actual. La variable de decisión asociada es:

$$X_i: \begin{cases} 1 & \text{Si se visita la ubicación } i \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

Para el cálculo de la función objetivo, se tuvieron en cuenta las variables asociadas al factor de esfuerzo y la distancia de cada uno de los recorridos sobre la velocidad de desplazamiento, la cual se definió en 4 Kilómetros por hora:

$$\text{Minimizar } T = \sum X_i * \left(\frac{\sum \text{Distancia Recorrida}}{\text{Velocidad de desplazamiento}} \right) * \sum \text{Factor de esfuerzo}$$

Se diseñó un algoritmo Voraz (Vecino más cercano) para determinar el ruteo más adecuado para cada familia. El algoritmo utilizado en VBA se representa en la ilustración 7:

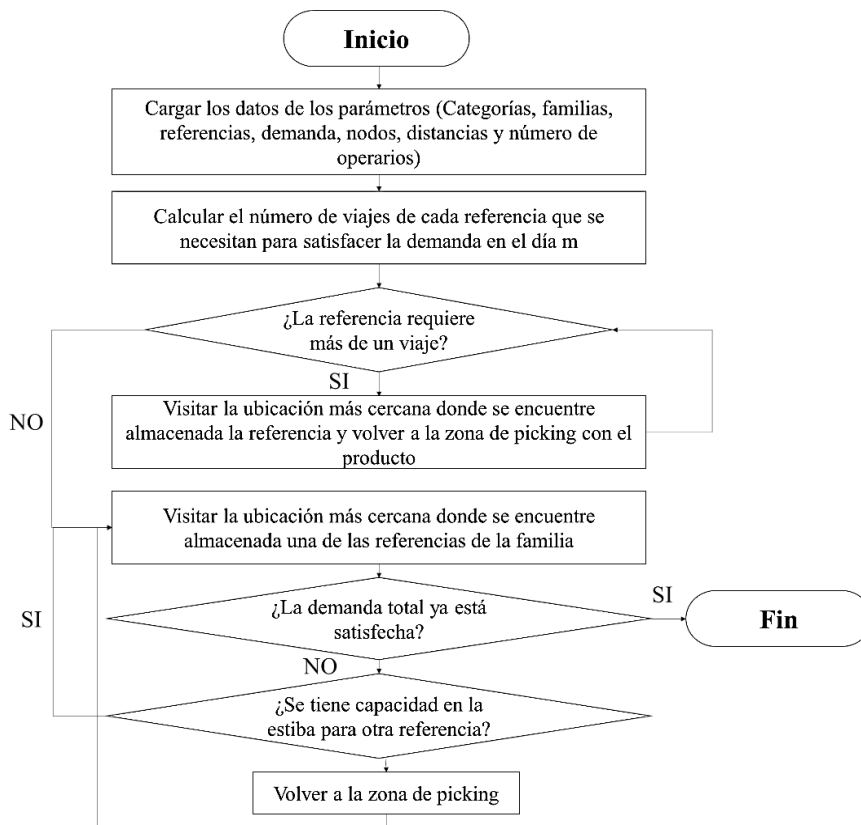


Ilustración 6 - Diagrama de flujo algoritmo Voraz

El criterio de asignación del algoritmo Voraz se basa en buscar las ubicaciones de las referencias de cada familia con menor distancia hasta haber extraído de la bodega las cantidades demandadas en cada turno. El algoritmo evalúa diferentes caminos teniendo en cuenta:

- El modelo iniciará con todos los recursos en la zona de alistamiento.
- Las referencias cuya demanda sea superior a una estiba se alistarán primero, halando las estibas completas de esta referencia en un recorrido independiente.
- Las rutas que no tengan la capacidad para extraer más cajas de las referencias faltantes de la familia asignada deben volver a la zona de alistamiento para restablecer la capacidad.
- El ruteo finaliza cuando todas las cajas de las referencias de la familia asignada se hayan extraído de la bodega.
- Todos los vehículos o equipos que se utilizan en el Distrito tienen la misma capacidad.
- Para el cálculo de la función objetivo, se consideró una velocidad de 4 Km/h para todos los recorridos realizados con los diferentes tipos de vehículos (Montacargas y estibador hidráulico). En el proceso actual se ha calculado que la velocidad promedio de desplazamiento dentro de la bodega es de 4 Km/h¹
- El Distrito cuenta con los recursos necesarios (Vehículos industriales) para que todos los colaboradores puedan realizar la extracción de las categorías de sus familias de forma paralela.

4.1.4. Herramienta de optimización para la configuración del producto en la bodega de almacenamiento

Se diseñó una herramienta de optimización para la configuración del producto en la bodega, con el objetivo de determinar la ubicación de las categorías dentro de la bodega de almacenamiento y buscando una reducción en el tiempo de extracción del producto hacia la zona de alistamiento. Para el almacenamiento del producto en la bodega, los líderes de operación se basan en el método ABC, el cual consiste en colocar las referencias con mayor demanda en las ubicaciones más cercanas a la zona de alistamiento. Sin embargo, por la gran cantidad de combinaciones posibles y el gran número de parámetros involucrados para almacenar el producto en la bodega, se evidencia la necesidad de recurrir a un método más robusto y con un tiempo de cómputo aceptable para determinar la configuración del producto dentro de la bodega de almacenamiento.

El problema de diseño del layout para la configuración del producto terminado en la bodega, así como el caso analizado por Mohsen y Hassan (2002) presentan un grado de complejidad tal, que con el fin de asegurar tiempos de respuesta aceptables para la operación en el Distrito Bogotá serán abordados desde el uso de una metaheurística que cumpla estas especificaciones.

Las metaheurísticas son métodos de solución que adquieren una mayor flexibilidad por su gran número de iteraciones (Páez, 2013). Una vez se obtuvo la función objetivo de la situación actual, se decide utilizar un algoritmo genético para determinar la ubicación más adecuada de las categorías dentro de la bodega. Los algoritmos genéticos permiten dar respuesta a varios de los inconvenientes más complicados presentados en la investigación de operaciones (Arias, 2009). Páez (2013) afirma que, el algoritmo genético, como método de búsqueda, está diseñado para localizar un óptimo dentro de una estructura de datos, mediante un proceso iterativo que permite eliminar soluciones a través de las generaciones hasta llegar a una solución óptima.

Para inicializar el algoritmo genético, se genera la población por medio de números aleatorios, incluyendo la situación de la bodega actual. Las principales consideraciones a tener en cuenta en la generación de cada uno de los cromosomas son las siguientes:

- El vector de cada cromosoma corresponde a los números de cada una de las categorías

¹ Este cálculo fue suministrado por el área de Seguridad y salud en el trabajo de Quala S.A.

- Las categorías no pueden repetirse dos veces en un mismo cromosoma
- Todos los vectores deben contener todas las categorías
- El vector referencias asociado a cada cromosoma, se ordena de acuerdo a la demanda de las referencias de cada categoría de mayor a menor. Esta restricción surge de la necesidad de ubicar juntas todas las referencias de una misma categoría
- Para cumplir con las políticas internas del Distrito con respecto a almacenar los productos de cuidado personal separados de los alimentos, se decide asignar inicialmente en el cromosoma las categorías que pertenecen a la macro categoría de “RTD”. Luego se asignan las categorías de cuidado personal y finalmente las categorías de alimentos. Así se garantiza que se cumpla con la restricción en mención.
- Se definió generar una población de 100 cromosomas
- Se define como dato de entrada que, al iniciar el turno diario de la Preventa, todas las ubicaciones estarán completamente abastecidas de producto. Esto se debe a que, el centro de distribución nacional de Quala S.A. se encuentra junto al Distrito Bogotá, por lo que se tiene definido una frecuencia de un día para abastecer el Distrito, minimizando el riesgo de tener faltantes o agotados para cubrir la operación.

Una vez se definió el orden de las categorías y referencias de cada uno de los cromosomas, se les asigna las principales características asociadas a cada una de las referencias para poder calcular la función objetivo, las cuales son: Apile, esfuerzo, familia, macro categoría, ubicaciones necesarias y volumen por caja. Para determinar la ubicación de cada una de las referencias dentro de la bodega, se recorre en orden el vector de las referencias de cada uno de los cromosomas, estableciendo la ubicación inicial donde se coloca la referencia, y la ubicación final para establecer donde iniciará la siguiente referencia.

La función objetivo que se calcula para cada uno de los cromosomas sigue la misma lógica del algoritmo Voraz mostrado en la ilustración 7. Luego de tener el valor de la función objetivo, se calcula el fitness asociado por medio de la siguiente ecuación:

$$Fitness: \frac{1}{Función\ Objetivo} * Factor\ de\ corrección$$

Se estableció un factor de corrección de cien mil para manejar de una forma más fácil los valores del fitness. Una vez calculado el Fitness, se procede a penalizar a los cromosomas que incumplan con alguna de las siguientes restricciones:

- Las ubicaciones que permitan remontar una estiba sobre otra, y tengan una categoría que no se pueda remontar, tendrán una penalización de -5 en el valor del fitness.
- Las ubicaciones que tengan como preferencia colocar categorías de cuidado personal, y se almacene una categoría de diferente macro categoría, tendrán una penalización de -5 en el valor del fitness.

Para elegir a los dos padres con los que se realizará el cruce genético, se utilizó el método de la ruleta, con el que, por medio de dos números aleatorios y los valores del fitness de los cromosomas, se seleccionan los dos padres. Este método de la ruleta permite dar una mayor probabilidad de escogencia a los cromosomas que tengan un mejor valor fitness.

Una vez se han seleccionado los padres, se procede a hacer el cruce genético para obtener a los dos hijos. Dada la principal restricción que asegura la factibilidad de los hijos, relacionada con la necesidad de que todas las categorías deben estar en el vector y estas no se pueden repetir, se definió solo un punto de corte para hacer el cruce genético.

Para cada uno de los hijos encontrados, se tiene un número aleatorio el cual determina si el hijo puede mutar (Probabilidad del 20%). Si el hijo puede mutar, por medio de otros dos números aleatorios se

intercambian dos posiciones del vector, para finalmente tener el vector Hijo definitivo y proceder a hallar la función objetivo y su valor fitness asociado.

Con los valores fitness generados y las penalizaciones que apliquen a cada uno de los hijos, se procede a hacer el intercambio de los hijos con alguno de los cromosomas de la población. Para lograr hacer este intercambio, se comparan los hijos con los cromosomas de la población de mayor a menor. Una vez se encuentre un cromosoma con un valor de fitness inferior al del hijo, se intercambian entre ellos para convertir al hijo en un cromosoma de la población. Una vez se hayan hecho los cambios de los hijos con la población, el programa itera nuevamente para poder buscar una mejor solución.

El algoritmo mencionado anteriormente (ANEXO 01 – PSEUDOCÓDIGO HERRAMIENTA DE ALMACENAMIENTO Y ALISTAMIENTO QUALA S.A. –DISTRITO BOGOTÁ) tiene como criterio de parada detenerse cuando no se encuentre una mejor solución que pueda reemplazar a alguno de los mejores cromosomas, de acuerdo con su valor fitness, durante 50 iteraciones consecutivas. Se realizaron varias corridas del algoritmo con diferentes cantidades de mejores cromosomas para evaluar el tiempo de cómputo y la solución obtenida, obteniéndose un tiempo razonable del algoritmo con los 40 mejores cromosomas, sin sacrificar el desarrollo de por lo menos 200 generaciones para mantener la diversificación del aplicativo.

Al ejecutar el algoritmo genético, se pudo obtener una nueva configuración de la distribución física del producto terminado en la bodega, la cual minimiza los recorridos internos de los colaboradores para llevar el producto de la bodega a la zona de alistamiento. En la herramienta construida (ANEXO 03 – HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN PARA EL ALMACENAMIENTO DE PT - PREVENTA DISTRITO BOGOTÁ. PESTAÑA “UBICACIÓN PT DTO BOGOTÁ”), se puede tener el diagrama de la bodega, donde se aprecia la referencia que se debe ubicar en cada ubicación.

El ANEXO 03 - HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN PARA EL ALMACENAMIENTO DE PT - PREVENTA DISTRITO BOGOTÁ. PESTAÑA INSTRUCTIVO contiene un instructivo de cada una de las herramientas, donde se explica la función de cada una de ellas y la forma como se utiliza. Adicionalmente, en la misma herramienta se tienen todos los datos de entrada para ser modificados cuando se requiera.

4.2. Proceso de alistamiento

En esta etapa, inicialmente se realizó una descripción detallada de la situación actual del proceso de alistamiento en compañía de los líderes y el jefe del Distrito para tener un entendimiento a profundidad de cada una de las actividades y la forma en que se ejecutan, dicha descripción se expone en el diagrama de proceso (ANEXO 08 – PROCESO DE ALISTAMIENTO PREVENTA DISTRITO BOGOTÁ); adicionalmente, en esta etapa se midieron los tiempos asociados a de las actividades identificadas previamente (ANEXO 06 – TIEMPOS ACTIVIDADES PROCESO DE ALISTAMIENTO). A partir de la información anterior se plantean diferentes alternativas con el objetivo de aumentar la productividad y reducir el tiempo de este proceso.

4.2.1. Análisis del proceso mediante la metodología CPM

Teniendo en cuenta la cantidad de actividades y decisiones descritas en el diagnóstico de la situación actual, no fue posible identificar claramente las actividades susceptibles de mejora y las que se deben intervenir para generar un impacto significativo en la reducción del tiempo total del proceso de alistamiento. Con base en lo anterior y teniendo en cuenta que los tiempos obtenidos de cada una de las actividades son determinísticos se procedió a utilizar el método de ruta crítica (CPM) para evaluar las actividades a intervenir y las propuestas de mejora asociadas a éstas.

Con la información del proceso de alistamiento se realizó un diagrama (CPM), el cual, según Palacios (2016) es una herramienta de planificación estratégica, que permite la correcta administración de un proceso dando claridad sobre lo que se quiere lograr y cómo se va a conseguir.

En la tabla 6 se muestran todas las actividades del proceso de alistamiento, indicando las actividades precedentes y el tiempo de ejecución estimado, para definir la ruta crítica. En la ilustración 8 se muestra el diagrama CPM del proceso de alistamiento:

NODO	ACTIVIDAD	PRECEDENTES	ESTIMACIÓN (min)	ES (Inicio temprano)	EF (Final temprano)	LS (Inicio tardío)	LF (Fin tardío)	HOLGURA (LF-EF)	RUTA CRITICA
A	Sacar consolidado de RTDs de la bodega	-	30	0	30	40	70	40	No
B	Sacar consolidado de familias	-	60	0	60	0	60	0	Sí
C	Validar consolidado RTDs	A	20	30	50	50	70	20	No
D	Organizar puesto de trabajo (Halar corrugado, ubicar mesa de estibas, ubicar estibas de producto de la familia x)	B	15	60	75	60	75	0	Sí
E	Validar consolidado de Preventa por familia	A, C	50	50	100	70	120	20	No
F	Alistamiento de RTD	C, D	45	75	120	75	120	0	Sí
G	Alistar familia RTD	E, F	185	120	305	169	354	49	No
H	Armar corrugado	E, F	14	120	134	120	134	0	Sí
I	Halar estiba de RTD familia a la zona de muelles	G	51	305	356	354	405	49	No
J	Alistar familia por ruta	H	240	134	374	134	374	0	Sí
K	Cerrar caja	J	23	374	397	374	397	0	Sí
L	Halar estiba a la zona de muelles	K	8	397	405	397	405	0	Sí
M	Validar rutas	I, L	45	405	450	405	450	0	Sí

Tabla 6 - Cálculo de tiempos de holgura - Actividades proceso de alistamiento

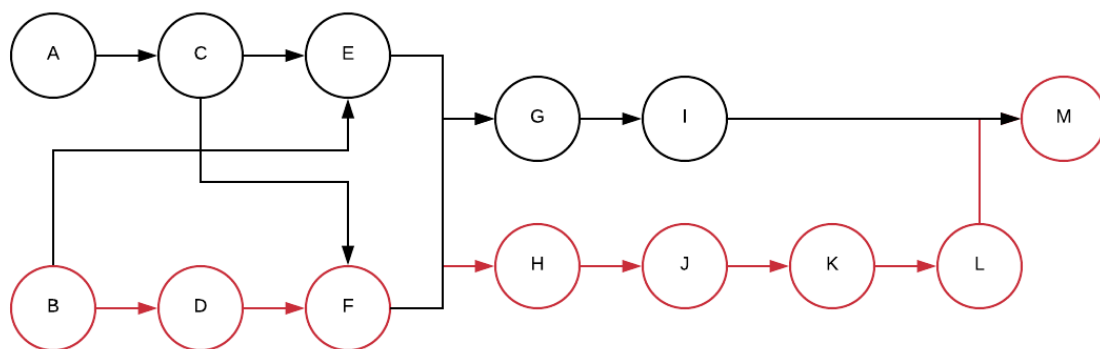


Ilustración 7- Diagrama CPM proceso de alistamiento

A partir del diagrama CPM de la ilustración 8, se pudo determinar cuáles son las actividades críticas del proceso, sobre las cuales se enfocará la propuesta de mejora ya que se relacionan directamente con el alistamiento de familias de productos del canal de Preventa. El objetivo de intervenir estas actividades es hallar una reducción en los tiempos de ejecución, ya que esta implica necesariamente una disminución en el tiempo total del proceso de alistamiento.

4.2.2. Ubicación de los puestos de trabajo mediante clasificación ABC

Analizando la actividad “Organizar puesto de trabajo” definida como ruta crítica del proceso de alistamiento del canal de Preventa, fue posible identificar que actualmente, la ubicación de los productos y las familias en la zona de alistamiento no está siguiendo ningún lineamiento específico, los alistadores escogen el lugar de trabajo según su preferencia y teniendo en cuenta algunos factores ergonómicos de la bodega como el nivel de luminosidad.

Con el fin de estandarizar la ubicación de las familias en la zona de alistamiento y optimizar los recursos disponibles, se propone una clasificación ABC de los productos a alistar. Como se cita en Vieira (2014), la clasificación ABC de los productos consiste en estructurar tres categorías denominadas A, B y C, apoyándose en el principio según el cual, generalmente los productos tienen una distribución parecida a la realizada por Pareto con las rentas de los individuos.

Siguiendo la metodología planteada por Vieira (2014), en principio, como se definió en la tabla 4, se agruparon los productos en familias haciendo uso de un *cluster* jerárquico y teniendo en cuenta los valores de peso, volumen (ancho, alto, largo) y productividad.

Para realizar la clasificación ABC de los productos se utilizaron los datos de demanda por referencia descritos en el ANEXO 03 – HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN PARA EL ALMACENAMIENTO DE PT - PREVENTA DISTRITO BOGOTÁ. La demanda mensual fue el criterio utilizado para realizar la clasificación ya que se ajusta a las necesidades y a las características del proceso de alistamiento del Distrito. Los datos de demanda se consolidaron de acuerdo con las 9 familias definidas y se ordenaron de forma descendente para la elaboración del diagrama de Pareto.

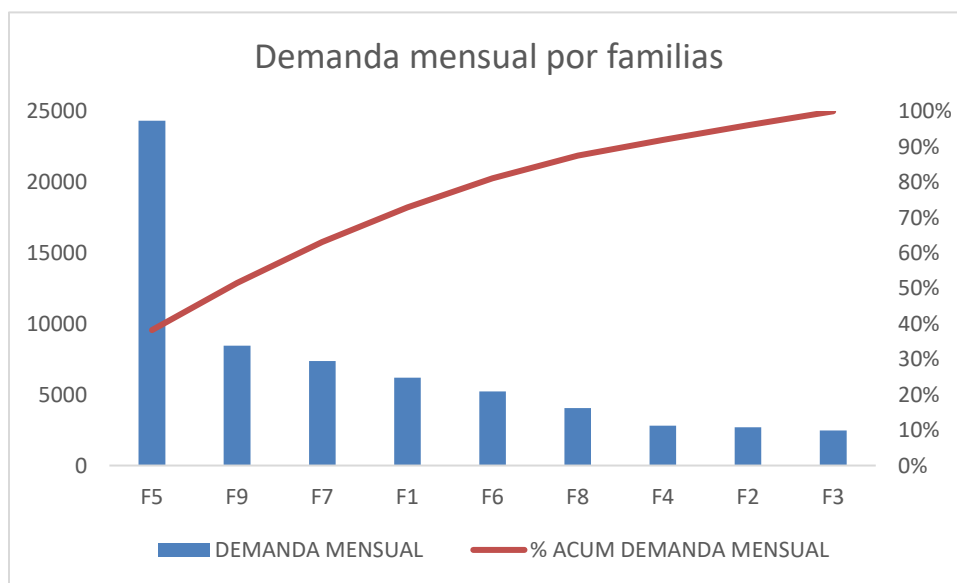


Ilustración 8 - Diagrama de Pareto Demandas por familia

Como se expone en la ilustración 8, el diagrama de Pareto concluye que, la familia 5 (categorías Vive 100, Saviloe, Predator), la familia 7 (Ego, Savital frascos, Bioexpert) y la familia 9 (categorías Aromatel frascos y Aromatel sachet) representan el 33,33% de las familias que generan el 63,14% de la demanda mensual en cajas del Distrito Bogotá. En la clasificación B están las familias que representan el 24,34% de la demanda y en el 12,52% restante de la demanda se clasifican las familias clase C.

4.2.3. Técnica de balanceo de línea para determinar la distribución de las actividades del proceso

Las actividades de “Armar corrugado”, “Alistar familia por ruta”, “Cerrar caja” y “Halar estiba a zona de muelles” comprenden el subproceso de alistamiento. Este conjunto de actividades representa en total el 63,3% de la duración de todo el proceso. En este subproceso, en primer lugar, los colaboradores arman una caja en dónde colocarán el producto alistado de cada ruta, posteriormente con ayuda de la hoja de alistamiento, toman el producto correspondiente y una vez alistan las cantidades solicitadas de la ruta, marcan y cierran la caja. Finalmente colocan la caja con el producto alistado de la ruta en la estiba que luego será llevada a los muelles para descargar cada ruta en el muelle asignado. Para este subproceso es importante resaltar que en la actualidad todas las actividades se ejecutan de forma secuencial por cada uno de los 16 colaboradores disponibles en el Distrito para el proceso de alistamiento del canal de Preventa.

Teniendo en cuenta la ejecución de actividades del subproceso de alistamiento descrita anteriormente y con el objetivo de reducir el tiempo de consolidación de pedidos por ruta, se va a tener en cuenta la agrupación de productos en familias descrita en la tabla 4, ya que mediante dicha agrupación es posible determinar que la cantidad de personas requeridas para ejecutar la actividad “Alistar familia por ruta” es de 12 colaboradores distribuidos según se muestra en la tabla 7.

<i>FAMILIA</i>	<i>NUMERO DE ALISTADORES</i>
<i>1</i>	<i>2</i>
<i>2</i>	<i>1</i>
<i>3</i>	<i>1</i>
<i>4</i>	<i>1</i>
<i>5</i>	<i>2</i>
<i>6</i>	<i>1</i>
<i>7</i>	<i>1</i>
<i>8</i>	<i>1</i>
<i>9</i>	<i>2</i>

Tabla 7 - Número de alistadores por familia

La definición de unas familias que agrupan categorías de productos con características similares favorece la especialización en la realización de esta actividad por parte de los colaboradores. Según Echeverry (2008) tener una especialización del personal en sus actividades facilita la conformación de grupos de trabajo, haciendo más fácil y organizado el desarrollo de cualquier actividad que se evidencia en un mejoramiento de la productividad en el proceso.

Una vez realizada la asignación de los 12 colaboradores a la actividad de “alistar familia por ruta” y con el objetivo de reducir el tiempo de las actividades críticas del subproceso de alistamiento, se analizaron dichas actividades a través del método del balanceo de línea, el cual es un factor crítico para la productividad de una empresa. Este método busca hallar una distribución adecuada de la capacidad productiva de los recursos, para asegurar un flujo continuo y uniforme de las actividades a través de los diferentes procesos, encontrando igualar los tiempos de trabajo en todas las estaciones, para maximizar el aprovechamiento de la mano de obra (Como se cita en Peña, 2016).

Para este subproceso en particular, se utilizó la metodología SALBP (*Simple Assembly Line Balancing Problem*), el cual, según Peña (2016) engloba los problemas de equilibrado más simples, presupone que todos los parámetros se conocen con certeza, así, una tarea no puede ser dividida entre dos o más estaciones de trabajo, existen secuencias que determinan relaciones de precedencia y todas las tareas deben llevarse a cabo. Específicamente para este subproceso, se utilizará el caso que propone maximizar la eficiencia de la línea de ensamble, minimizando el producto del número de estaciones y el tiempo de ciclo.

Teniendo en cuenta el criterio de asignación de actividades a las estaciones de trabajo en el balanceo de línea, descrito para este caso como el tiempo de ciclo (tiempo de alistar una ruta) fue posible unir las

actividades de “alistar familia por ruta” y “armar corrugado” en una estación de trabajo. Bajo este escenario, los 4 colaboradores restantes pueden ejecutar paralelamente la actividad de armar los corrugados de todas las familias.

Los colaboradores que se encuentran realizando la actividad de armar caja requieren de media hora en promedio para ejecutar esta operación. Posterior a esto, inician la tarea de “Halar estiba a zona de muelles” lo cual permite unir en una sola estación de trabajo esta tarea con la actividad de “Cerrar caja” y así eliminar una estación del proceso. Lo anterior hace posible que los alistadores de cada una de las familias se enfoquen únicamente en las actividades de “Alistar familias por ruta” y “Cerrar caja”, reduciendo los desplazamientos que actualmente ellos mismos realizan desde la zona de alistamiento a los muelles de despacho y el tiempo del proceso.

Para poder medir el impacto de esta distribución de actividades, eliminando dos estaciones de trabajo, en el ANEXO 05 – BALANCEO DE LÍNEA SUBPROCESO DE ALISTAMIENTO, es posible observar que se obtiene una reducción en el tiempo total del subproceso de alistamiento que no se restringe por los recursos disponibles en el Distrito (vehículos industriales para los colaboradores que ejecutan las actividades). Adicionalmente, para soportar este cambio, en el anexo en mención se hace un análisis de la distribución de las actividades por medio de un diagrama de Gantt, especificando la ejecución de las tareas de cada uno de los colaboradores, y como este cambio optimiza la utilización del talento humano.

4.3. Simulación del escenario propuesto

Para medir el impacto de las propuestas de mejora presentadas anteriormente, se realizó una simulación en el programa *Flexsim*, un software que posee un ambiente orientado a objetos, para desarrollar, simular, visualizar y monitorear actividades y sistemas con procesos de flujo dinámicos (Alzate, 2012). En esta simulación, se recreó todo el proceso en general: Espacio, personal involucrado, equipos, desplazamientos y los tiempos de cada una de las actividades.

Para realizar el diseño de todo el sistema, se siguió la metodología propuesta por Ocampo (2012) para construir un modelo de simulación en el entorno de *Flexsim*, el cual consta de 5 pasos:

1. **Desarrollar un layout del modelo:** En esta etapa, se diseñó la zona de alistamiento del centro de distribución del Distrito Bogotá. En el modelo se incluyeron los colaboradores que hacen parte de la operación, los equipos utilizados y el espacio donde se ejecutan todas las actividades del proceso.
2. **Conectar objetos con los puertos:** Los puertos de entrada y salida son utilizados para definir la ruta que siguen los productos y colaboradores dentro del sistema. Dentro de esta etapa, se conectaron los colaboradores con los procesadores que requieren para su operación, siguiendo la lógica del proceso real, teniendo en cuenta la precedencia de cada una de las actividades y las que se ejecutan de forma paralela.
3. **Editar el aspecto y configurar el comportamiento de los objetos:** Una vez definido el layout del centro de distribución del Distrito y las conexiones entre cada uno de los colaboradores con los procesadores y entidades, se definió la lógica y los datos de funcionamiento de cada uno de los elementos del sistema. Para definir los tiempos de cada una de las actividades del proceso de alistamiento se utilizó *Experfit*, el cuál es un complemento de *flexsim*, para ajustar las distribuciones de probabilidad a los datos de las mismas.

Los datos de entrada de cada actividad se obtuvieron de la siguiente manera:

<i>Actividad</i>	<i>Descripción</i>
<i>Sacar el consolidado de familias</i>	Del ANEXO 03 - HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN PARA EL ALMACENAMIENTO DE PT - PREVENTA DISTRITO BOGOTÁ, se obtuvo el tiempo promedio en el cual se consolida la familia con mayor tiempo de proceso.
<i>Sacar consolidado de RTDs de la bodega</i>	Este tiempo se obtuvo a partir del análisis realizado en el diagrama CPM, mostrado en la ilustración 8

<i>Validar consolidado RTDs</i>	
<i>Organizar puesto de trabajo</i>	
<i>Validar consolidado de Preventa por familia</i>	
<i>Alistamiento de RTD</i>	
<i>Alistar familia RTD</i>	
<i>Armar corrugado</i>	Se tomaron los tiempos de 24 días correspondientes a ejecutar esta actividad por cada ruta para cada una de las familias. Por medio de <i>Experfit</i> , se obtuvo la distribución de probabilidad asociada (ANEXO 06 – TIEMPOS ACTIVIDADES PROCESO DE ALISTAMIENTO)
<i>Cerrar caja</i>	
<i>Alistar familias</i>	Se tomaron los tiempos de alistamiento de 24 días de las familias que actualmente componen la operación de la Preventa, con estos valores y haciendo uso de <i>Experfit</i> se halló la distribución de probabilidad del tiempo de alistamiento de cada una. Teniendo en cuenta la nueva distribución de las familias propuesta en la tabla 4, se ajustó la información tomando la distribución de probabilidad correspondiente a la categoría más representativa en términos de la demanda (ANEXO 06 – TIEMPOS ACTIVIDADES PROCESO DE ALISTAMIENTO)
<i>Halar estiba a la zona de muelles</i>	El tiempo de ejecución de esta actividad corresponde a la distancia que deben recorrer los patinadores desde cada uno de los puestos de trabajo de las familias hasta los muelles, considerando la velocidad promedio de desplazamiento que arroja automáticamente <i>Flexsim</i>
<i>Validar rutas</i>	Esta actividad no fue considerada dentro de la simulación, ya que no forma parte del subproceso de alistamiento y es una actividad que a menudo se realiza en conjunto con el transportista.

Tabla 8 - Descripción de las variables involucradas en la simulación

4. **Compilar y correr el modelo creado:** Después de configurar la lógica de cada uno de los elementos del modelo se corre la simulación para validar el correcto funcionamiento del mismo. Para verificar que las condiciones del entorno simulado corresponden a las características reales del proceso, se validaron y aprobaron cada una de las actividades ejecutadas de la simulación con el líder de operación logística, teniendo en cuenta las propuestas de mejora implementadas y los resultados obtenidos en términos del tiempo de finalización de todas las actividades.
5. **Revisar los resultados obtenidos:** Para medir el impacto del escenario propuesto en el modelo de simulación, se evaluó el resultado global de la simulación con el tiempo total de finalización del proceso de alistamiento, iniciando con la toma de producto de la bodega hasta el traslado de las rutas alistadas hacia los muelles de despacho.

A partir de los 5 pasos descritos anteriormente se consolidó la simulación del proceso de alistamiento del Distrito Bogotá, en la cual se simuló el proceso total del turno de Preventa, el cual inicia a las 10:00 pm, y con base en todas las características de cada una de las actividades e incluyendo las propuestas de mejora definidas, se pudo obtener la hora en la cual finalizan todas las actividades de alistamiento de cada uno de los vehículos, garantizando que las 54 rutas que se alistán en cada turno de la Preventa salgan dentro de las ventanas de tiempo establecidas. La simulación de todo el proceso de alistamiento puede ser consultada en el ANEXO 09 – VIDEO SIMULACIÓN PROCESO DE ALISTAMIENTO PREVENTA DISTRICTIO BOGOTÁ.

A partir del uso de herramientas de ingeniería, diseñadas para el problema del almacenamiento y alistamiento del Distrito Bogotá, y a la evaluación realizada del escenario propuesto en la simulación, se logra alinear la metodología descrita con los objetivos planteados inicialmente.

5. Resultados

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos de este trabajo, se analizarán cada una de las herramientas y metodologías desarrolladas para medir el impacto de la propuesta de mejora para el proceso de almacenamiento y alistamiento de los pedidos del canal de Preventa.

5.1. Proceso de almacenamiento

5.1.1. Herramienta de ruteo diario

La herramienta diseñada, cuyo objetivo es minimizar la distancia recorrida por los colaboradores en la extracción de producto de la bodega a la zona de alistamiento, tiene la opción de generar las hojas de cargue asociadas a cualquier día laborable del mes. En estos documentos, se muestra la familia con las categorías de producto asociadas, y la ruta que debe recorrer el colaborador para sacar todo el consolidado de la bodega a la zona de alistamiento.

Como parte de las pruebas de rendimiento ejecutadas sobre la herramienta, para verificar la consistencia de los resultados con respecto a los parámetros de entrada que se hayan ingresado, se modificaron los valores de la demanda y se probó la herramienta ingresando varios días del mes. Estos cambios dieron como resultado una solución factible de la herramienta, generando el resultado más óptimo encontrado por el algoritmo y sin tener ninguna afectación el desempeño para generar las hojas de cargue

Con respecto a las restricciones asociadas, al momento de generar las hojas de cargue, la cantidad de cajas que se muestra en estos documentos no tiene la configuración para determinar esta cantidad en términos de cajas – display – unidades. Sin embargo, el ERP que utiliza Quala S.A. cuenta con una opción para hacer la conversión de unidades de medida para cada una de las referencias, reflejando la cantidad de cajas, displays y unidades que requerirían por cada referencia.

5.1.2. Diseño de herramienta de optimización para determinar la configuración de la bodega de almacenamiento

Por medio de la información suministrada por los líderes de operación, se determinó el tiempo empleado en la actividad de sacar el consolidado de la bodega de almacenamiento a la zona de alistamiento, el cual tiene un tiempo promedio de 60 minutos. Este tiempo es el resultado de realizar el proceso teniendo en cuenta la agrupación de categorías de producto que se maneja en la situación actual, y, como se mencionó anteriormente, esta agrupación no contaba con un criterio de decisión objetivo. Por medio del análisis por conglomerados realizado, se obtuvo una agrupación de categorías, que busca maximizar la homogeneidad dentro de cada familia y la máxima diferencia entre ellas.

Como resultado de este análisis, se pasó de tener 14 familias de producto a tener solamente 9, las cuales fueron utilizadas en la herramienta de optimización como parámetros de entrada para determinar los recorridos que cada colaborador debe realizar.

Utilizando la herramienta de optimización, se obtuvo una configuración de la bodega de almacenamiento de producto terminado que tiene como objetivo reducir el tiempo total de extracción de producto hacia la zona de alistamiento. Como parte de la solución encontrada, el algoritmo calcula el tiempo promedio que durará la ejecución de esta actividad durante los 25 días laborales del mes, basados en la demanda previamente ingresada. En la ilustración 10 se observa el esquema de la bodega que se obtiene a partir de la ejecución del algoritmo genético.

BODEGA DISTRITO BOGOTÁ - UBICACIÓN FINAL DE LAS REFERENCIAS EN CADA UBICACIÓN

**Tiempo promedio diario de halar
consolidado a zona de alistamiento:
41 Minutos**

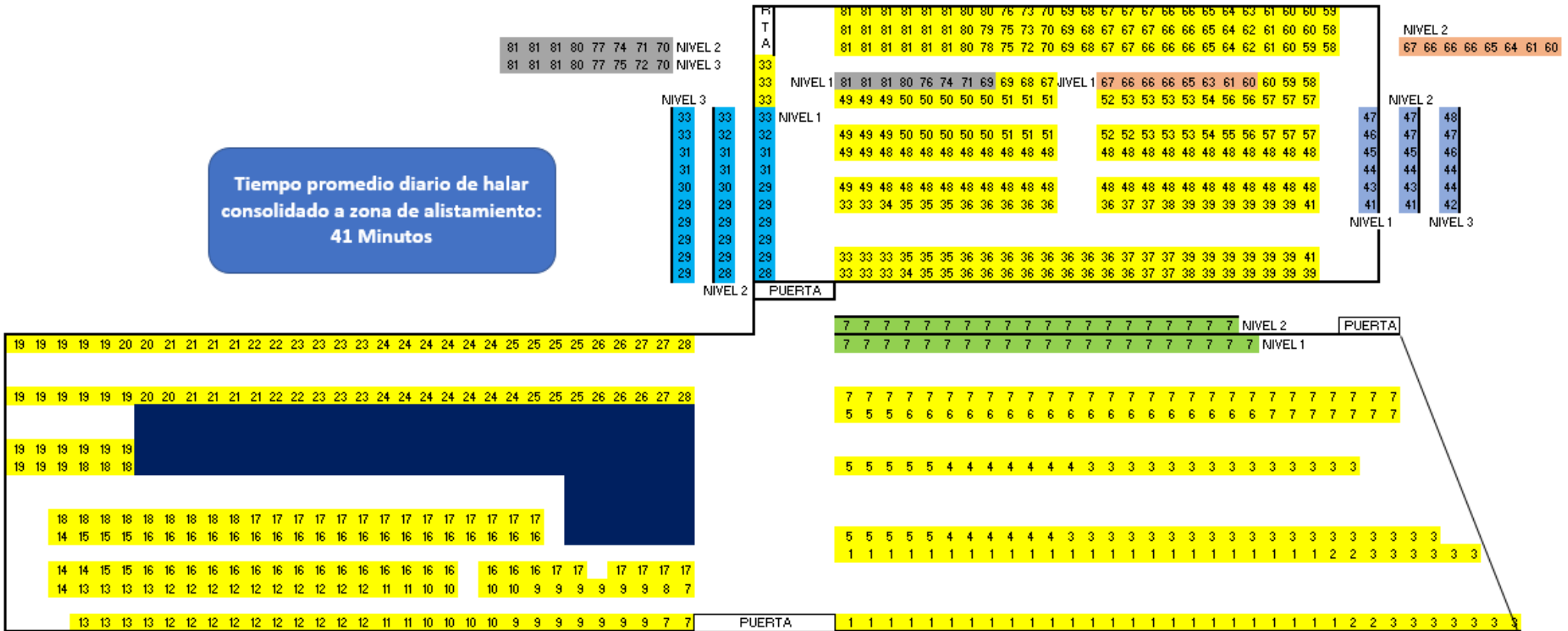


Ilustración 9 - Ubicación final de las referencias en la bodega de almacenamiento Distrito Bogotá

En la ilustración 10 se observa la mejor solución encontrada en 10 corridas de la herramienta realizadas con los mismos parámetros de entrada, obteniendo como resultado un tiempo de 41 minutos para ejecutar la actividad de consolidación del producto desde la bodega hasta la zona de alistamiento. Este resultado obtenido con la herramienta en mención generó una reducción del 31,7% del tiempo actual de ejecución de esta actividad. El tiempo calculado con la herramienta de optimización es comparable con los 60 minutos que actualmente dura en ejecutarse esta actividad, ya que, dentro de la función objetivo del modelo, se incluyó el factor de esfuerzo, el cual representa la holgura en el tiempo de extracción de cada una de las categorías desde la bodega hasta la zona de alistamiento.

Como parte de las pruebas de rendimiento ejecutadas sobre la herramienta, para verificar la consistencia de los resultados con respecto a los parámetros de entrada que se hayan ingresado, se modificaron los parámetros asociados a la demanda, la cantidad de ubicaciones por referencia y la composición de la cada una de las familias. Estos cambios generaron una solución factible de la herramienta, obteniendo el resultado más óptimo encontrado por el algoritmo.

Con respecto a las restricciones asociadas a la herramienta, no se pueden incluir categorías y/o referencias de producto adicionales a las que se han ingresado. Adicionalmente, la suma del número de ubicaciones necesarias por cada referencia no debe exceder el número total de ubicaciones que tiene la bodega. Por otro lado, el algoritmo debe correrse con la demanda de los 25 días laborales, sin poder modificar este número de días.

5.2. Proceso de alistamiento

De acuerdo con el diagrama CPM realizado en el diagnóstico de la situación actual, se pudieron determinar las diferentes actividades críticas y susceptibles a una oportunidad de mejora. Dicho análisis se realizó con el objetivo de reducir los tiempos de ejecución de las actividades críticas e impactar favorablemente en el tiempo total del proceso de alistamiento.

5.2.1. Ubicación de los puestos de trabajo mediante clasificación ABC

Para la actividad de “Organizar puesto de trabajo”, con base en los resultados mostrados en el diagrama de Pareto de la ilustración 9, se definió que las referencias clase “A” son las referencias estratégicas para aumentar la productividad y reducir los tiempos y movimientos en la actividad de alistamiento, ya que tienen un alto impacto en la operación, debido a que la cantidad demandada que tienen estos productos requieren de una mayor utilización de los recursos (Vieira, 2014). Los resultados de la clasificación ABC dentro de la zona de alistamiento de la bodega del Distrito Bogotá se exponen en la ilustración 11.

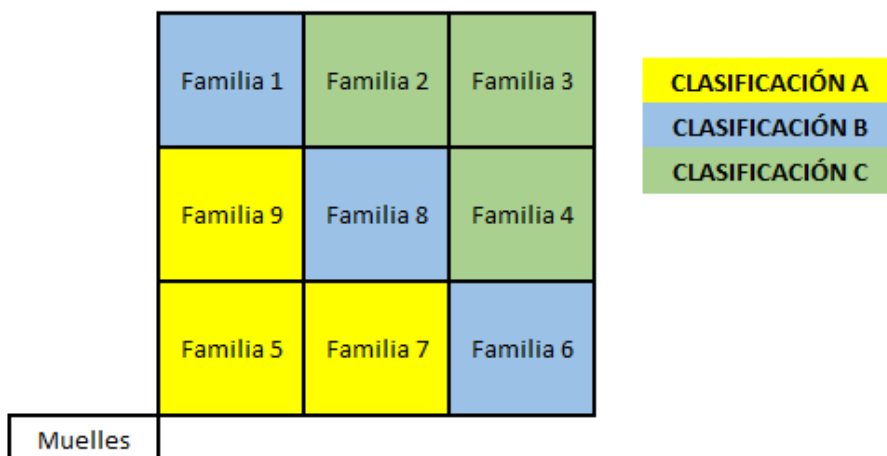


Ilustración 10 - Ubicación de cada familia dentro de la zona de alistamiento

5.2.2. Técnica de balanceo de línea para determinar la distribución de las actividades del proceso

Con respecto a las actividades pertenecientes al subproceso de alistamiento “Armar corrugado”, “Alistar familias por ruta”, “Cerrar caja” y “Halar estiba a muelles”, como se comentó en la metodología, se utilizó la técnica de balanceo de línea, con el fin de disminuir las estaciones de trabajo y así aumentar la eficiencia del proceso. Teniendo en cuenta la distribución de las familias propuesta, de los 16 colaboradores disponibles para la operación, se requieren únicamente 12 de ellos para ejecutar la actividad de “Alistar familias por ruta”. Los 4 colaboradores restantes pueden enfocarse en las actividades de “Armar corrugado” y “Halar estiba a muelles”, lo cual permite eliminar dos estaciones de trabajo y reducir el tiempo del subproceso de alistamiento en un 7,7 % y aumentar la eficiencia en un 25%.

A partir del análisis anterior, se pudo obtener el siguiente diagrama CPM, el cual muestra la nueva distribución de las actividades, la precedencia de cada una de ellas y el tiempo total de ejecución del alistamiento de todas las rutas de la Preventa.

NODO	ACTIVIDAD	PRECEDENTES	ESTIMACION (min)	ES (Inicio temprano)	EF (Final temprano)	LS (Inicio tardío)	LF (Fin tardío)	HOLGURA (LF-EF)	RUTA CRITICA
A	Sacar consolidado de RTDs de la bodega	-	30	0	30	5	35	5	No
B	Sacar consolidado de familias	-	45	0	45	0	45	0	Sí
C	Validar consolidado RTDs	A	20	30	50	35	55	5	No
D	Organizar puesto de trabajo (Halar corrugado, ubicar mesa de estibas, ubicar estibas de producto de la familia x)	B	15	45	60	45	60	0	Sí
E	Validar consolidado de Preventa por familia	A, C	50	50	100	55	105	5	No
F	Alistamiento de RTD	C, D	45	60	105	60	105	0	Sí
G	Alistar familia RTD	E, F	185	105	290	183	368	78	No
H	Armar corrugado	E, F	38	105	143	279	317	174	No
I	Halar estiba de RTD familia a la zona de muelles	H	51	143	194	317	368	174	No
J	Alistar familia por ruta	E, F	240	105	345	105	345	0	Sí
K	Cerrar caja	J	23	345	368	345	368	0	Sí
L	Halar estiba a la zona de muelles	H	8	119	127	360	368	241	No
M	Validar rutas	G, I, L, K	45	368	413	368	413	0	Sí

Tabla 9 - Tabla diagrama CPM con propuesta de mejora

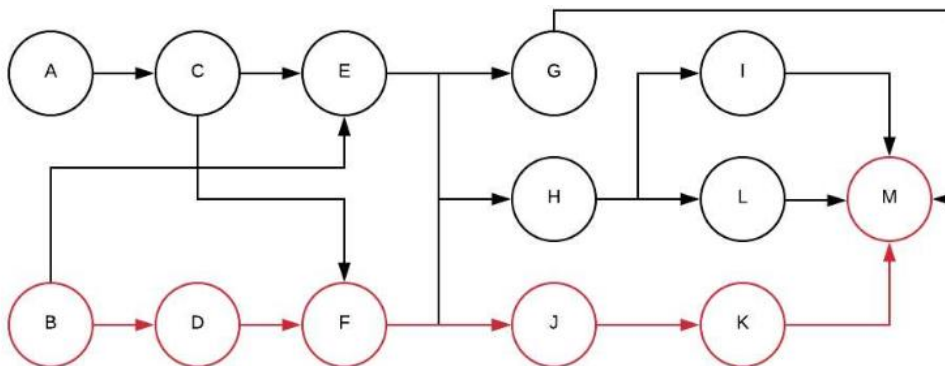


Ilustración 11 - Diagrama CPM de la propuesta de mejora

A partir de la ilustración 12, se puede observar la propuesta de mejora, específicamente para las actividades H, I, J, K y L. Como resultado de este análisis, fue posible establecer dos roles específicos para los colaboradores que intervienen en el subproceso de alistamiento. Por un lado, se definió el rol del alistador, el cual se encarga de las actividades “Alistar familias por ruta” y “Cerrar caja”; por otro lado, se definió el rol del patinador, el cuál ejecuta las actividades de “Armar corrugado” y posteriormente “Halar estiba a muelle”. Finalmente, para dar cumplimiento al objetivo de proponer una mejora en el tiempo de alistamiento, se obtuvo una reducción del 8,96% del tiempo total de ejecución de todo el proceso de alistamiento de las rutas de la Preventa, lo cual es equivalente a una reducción de 37 minutos de la operación.

5.3. Simulación del escenario propuesto

Para evaluar el impacto que tendría la implementación de las propuestas de mejora descritas anteriormente, se realizó una simulación del escenario propuesto con el programa *flexsim*, a través de la metodología mostrada en el capítulo anterior. Bajo las condiciones del entorno del Distrito Bogotá e implementando los cambios en los tiempos y actividades del proceso de alistamiento, se corrió el programa de simulación (ANEXO 10 – SIMULACIÓN PROCESO DE ALISTAMIENTO PREVENTA DISTRITO BOGOTÁ), en el cual, el principal objetivo era confirmar la hora de finalización de todo el proceso, que comprende desde la extracción del producto de la bodega a la zona de alistamiento, hasta el momento en el cual todos los pedidos se encuentran en los muelles listos para la validación de los mismos por parte de los colaboradores en compañía de los transportistas, garantizando que todos los vehículos fueran despachados dentro de las ventanas de tiempo asignadas.

5.4. Medición del impacto

El canal de Preventa es considerado como el canal de venta más importante de la compañía, ya que todos los productos allí fabricados tienen como nicho de mercado al consumidor popular local. Los ingresos que Quala recibe por este canal son de contado por lo que es una fuente muy importante para mantener un flujo de caja disponible para la compañía. Por esta razón, una de las líneas estratégicas de Quala es asegurar que todos los clientes de la Preventa sean abastecidos oportunamente.

Según la última medición del indicador interno de Quala S.A. del porcentaje de vehículos despachados a tiempo, solamente el 75% de los vehículos son despachados dentro de las ventanas de tiempo establecidas. Este retraso del despacho del 25% restante, ha generado que los clientes reciban sus pedidos por fuera de la hora en que ellos lo requieran, lo cual se traduce en una venta perdida.

Al momento de ejecutar la simulación, se consideró el tiempo de inicio de la operación a las 10:00 pm y se evidenció que los pedidos de las 18 rutas correspondientes a la primera ventana de tiempo (4:00 am) se están consolidando en los muelles alrededor de la 01:11 am. Los pedidos de las siguientes 18 rutas, pertenecientes a la segunda ventana de tiempo (05:00 am) se consolidan alrededor de las 2:45 am y los 18 vehículos de la última ventana de tiempo (06:00 am) se terminan de consolidar alrededor de las 4:37 am. Con el análisis anterior, se puede asegurar que el 100% de los vehículos que atienden el canal de la Preventa son despachados dentro de las ventanas de tiempo establecidas.

Para proteger los intereses de la compañía, no es posible mostrar el valor del impacto económico que generan estas ventas perdidas, sin embargo, como producto de este trabajo, se tiene como resultado el despacho del 100% de los vehículos dentro de las ventanas de tiempo, evitando que se tenga esta pérdida de valor.

Con la finalización de la consolidación de los pedidos alrededor de las 4:37 am, se asegura que se cuente con el tiempo suficiente para validar el producto en los muelles de despacho y solucionar las novedades que se hayan podido presentar durante el proceso, aumentando en esta forma, el porcentaje de pedidos completos. Debido a que las propuestas de mejora fueron realizadas en un entorno simulado, no fue posible cuantificar el impacto en este indicador.

6. Conclusiones y recomendaciones

El resultado de este trabajo es una propuesta de mejora para el proceso de almacenamiento y alistamiento de los pedidos correspondientes al canal de la Preventa del Distrito Bogotá. Por un lado, se diseñó una herramienta de optimización que tiene como objetivo determinar la ubicación física del producto terminado en la bodega de almacenamiento, con el fin de disminuir el tiempo de extracción del producto y trasladarlo a la zona de alistamiento. Esto se logró a partir de un algoritmo genético en *Visual Basic for applications* con un tiempo de ejecución de la herramienta de aproximadamente 3 minutos.

A pesar de que existen varios estudios enfocados en solucionar este tipo de problemas en bodegas de almacenamiento, cada almacén tiene características únicas, y, para el caso del Distrito Bogotá, existen restricciones inherentes al proceso que requirió ajustar las técnicas de solución existentes a este caso de estudio.

El uso del algoritmo genético para la solución del problema de la configuración de la bodega de almacenamiento del Distrito Bogotá, permite una mayor flexibilidad para adaptar la herramienta de optimización a las necesidades de diferentes almacenes, comparado con el alcance que puede brindar una heurística para este tipo de problemas.

La adecuada agrupación de categorías de producto en familias para el proceso de alistamiento, además de reducir el tiempo de ejecución de las actividades como se mencionó anteriormente, permite desarrollar una especialización en los colaboradores, al trabajar con categorías más homogéneas, favorece un aumento en la productividad en el futuro. Esta especialización del trabajo también se puede ver reflejada en los patinadores encargados de armar las cajas y halar las estibas a los muelles, al ser una actividad específica y repetitiva que puede generar una aceleración en la curva de aprendizaje.

De acuerdo con la asignación de las categorías en las agrupaciones de productos o familias, al momento de incluir una nueva categoría en una familia, se recomienda validar con los líderes expertos de la operación el grupo de productos al cual debería pertenecer con base en las características físicas y el tiempo de alistamiento disponible de cada una de las familias.

La definición de los roles específicos en el proceso de alistamiento realizada anteriormente, debe implementarse teniendo en cuenta una adecuada rotación de los colaboradores en cada uno de los dos roles (alistador y patinador), con el fin de minimizar algún riesgo ergonómico ocasionado por realizar actividades repetitivas por un largo tiempo.

Por medio de la aplicación del método de la ruta crítica y el diagrama CPM, fue posible conocer las actividades críticas del proceso, sobre las cuales se enfocaron las propuestas de mejora para el proceso de alistamiento, ya que, una reducción en el tiempo de estas actividades es la única forma de reducir el tiempo total de la operación.

Así mismo, a partir del diagrama CPM, se analizaron las actividades que demandan un mayor tiempo de ejecución y requieren de una mayor utilización de mano de obra. A partir de esto, por medio de la técnica del balanceo de línea, se logró encontrar un equilibrio en las cargas de trabajo y eliminar algunas actividades precedentes, asignando estaciones de trabajo en paralelo sin alterar los recursos existentes.

A pesar de que el estudio no se basó en un análisis ergonómico de las condiciones del Distrito Bogotá, se recomienda revisar los niveles de luminosidad de la bodega, con el objetivo de que estos cumplan con los niveles recomendados por el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) y no sea una restricción para la ubicación de los puestos de trabajo dentro de la zona de alistamiento.

Por medio de la simulación del proceso realizada para visualizar las propuestas de mejora, se logró unificar los resultados de las propuestas relacionadas con la configuración de la bodega de almacenamiento y el proceso de alistamiento, con el fin de poder evaluar el objetivo general del trabajo. Así mismo, la propuesta de mejora presentada en este trabajo implica un cambio significativo en la forma de operar para el alistamiento

de los pedidos, por lo que una simulación del proceso es la manera más adecuada para representar las condiciones del escenario propuesto, y con base en sus resultados, poder evaluar el impacto de la implementación de esta propuesta.

Con la propuesta de mejora para el proceso de almacenamiento y alistamiento de los pedidos de la Preventa, se obtuvo una reducción del 8,96% del tiempo total de ejecución de toda la operación, lo cual es equivalente a una reducción de 37 minutos de la operación y el aumento del indicador del porcentaje de vehículos despachados dentro de las ventanas de tiempo al 100%

La propuesta de mejora en el proceso de almacenamiento y alistamiento del canal de la Preventa cumplió con las políticas y lineamientos de los procedimientos internos del Distrito Bogotá definidos para garantizar un manejo adecuado del producto y de los recursos disponibles.

Por medio de la metodología utilizada en este trabajo, esta propuesta de mejora podría ser replicable en los 5 Distritos restantes a nivel nacional, ajustando los parámetros de entrada de la herramienta de optimización a las condiciones propias de cada uno de estos centros de distribución de Quala S.A.

7. Glosario

- **Algoritmo Voraz:** También conocido como *Greedy*, es un método iterativo diseñado para resolver problemas difíciles de optimización combinatoria, investigando el vecindario de soluciones hasta hallar un óptimo local en cada iteración del algoritmo (Montoya, 2010).
- **Alistamiento:** Proceso de recolección de la mercancía desde su posición de almacenamiento hasta su embalaje (formar un Pallet) para poder ser cargado y despachado. (Quala S.A, 2016)
- **Alistamiento de pedidos (*Picking*):** Consiste en recoger la mercancía en la posición de almacenamiento de acuerdo con los requerimientos de los clientes o de quien solicite el pedido. (Arrieta,2011)
- **Alistamiento de RTD:** consolidación de pedidos de Consumo en sitio, Canal de Distribución para clientes minoristas de los productos RTD (Ready to Drink) (Quala S.A, 2016)
- **Canal de distribución:** Estructura de negocios y de organizaciones interdependientes que va desde el punto del origen del producto hasta el consumidor.
- **Centro de distribución:** Es una infraestructura logística en la cual se almacena producto y se realizan despachos de órdenes de salida para su distribución al comercial y minorista. (Chávez et al., 2009)
- **Dendrograma:** Representación gráfica que ayuda a interpretar el resultado de un análisis por conglomerados (Terrádez, 2011).
- **Distribución física (*Layout*):** Disposición de los elementos dentro del almacén teniendo en cuenta el espacio, equipos, flujos de rotación, personal, gestión y política empresarial (Mecalux S.A, 2017)
- **Estación de trabajo:** es un área adyacente a la línea de ensamble, donde se ejecuta una cantidad dada de trabajo (una operación). (Balance de líneas de producción, 2017)
- **Preventa:** Canal de Distribución para las tiendas minoristas clientes de Quala S.A, (Quala S.A, 2016)
- **Otros Canales:** Canal de Distribución para atender la necesidad de los clientes mayoristas (Quala S.A, 2016).
- **Tiempo de ciclo:** es el intervalo que transcurre para que los productos terminados dejen la línea operativa o de producción. Si el tiempo requerido en cualquier estación excede el disponible para un trabajador, tienen que agregarse trabajadores (Peña, 2016).

8. Referencias

- A. Gunasekaran, H.B. Marri, F. Menci, (1999) "Improving the effectiveness of warehousing operations: a case study", *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 99 Issue: 8, pp.328-339
- Alzate, R. (2012). Guía de usuario para el modelamiento y análisis con el software Flexsim. Grupo de investigación y competitividad. *Universidad Francisco de Paula Santander*. 298 P.

- Angeliki Karagiannaki, Dimitris Papakiriakopoulos, Cleopatra Bardaki, (2011) "Warehouse contextual factors affecting the impact of RFID", *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 111 Issue: 5, pp.714-734, <https://doi.org/10.1108/02635571111137278>
- Balance de líneas de producción – Ingeniería de métodos II. (2017). Lugar de publicación: <https://es.slideshare.net/JuanParedesCampos/balance-de-lineas-de-produccion>
- Castillo, M., (2006), *Toma de decisiones en las empresas: entre el arte y la técnica*, Bogotá, Colombia, Ediciones Uniandes.
- Chackelson, C., Santos, J., & Errasti, A. (2013). Herramienta para asistir el proceso de diseño de almacenes: Desarrollo y validación. *Memoria Investigaciones En Ingeniería*, (11), 15-27.
- Charles G. Petersen, Charles Siu, Daniel R. Heiser, (2005) "Improving order picking performance utilizing slotting and golden zone storage", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 25 Issue: 10, pp.997-1012, <https://doi.org/10.1108/01443570510619491>
- Chávez, Blanca M., Najarro, Jenniffer B. y Rivas, Doris O. (2009). Análisis, diseño e implementación de un centro de distribución”, objetivo: Tener la visión completa de las áreas que conforman un CDD y las variables que deben administrarse para su operación
- de Vries, J. & de Koster, R. & Stam, D. Exploring the role of picker personality in predicting picking performance with pick by voice, pick to light and RF-terminal picking. *International Journal of Production Research*. 2016. Vol. 54. P. 2260-2274.
- Dr. Edward H. Frazelle: *World-Class Warehousing and Material Handling*, Second Edition. ORDER PICKING AND SHIPPING, Chapter (McGraw-Hill Professional, 2016), AccessEngineering
- Echeverry, D., Páez, H. y Mesa, H. (2008). *Digital simulation of concrete structure construction: practical case-study in Bogota*. *Ingeniería de Construcción* Vol.23 N°1, abril de 2008 www.ing.puc.cl/ric PAG.64-71
- Ling-feng Hsieh, & Tsai, L. (2006). The optimum design of a warehouse system on order picking efficiency. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(5), 626-637.
- Marín, R. (2000). *Almacén de Clase Mundial*. Caracas, Venezuela: Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.
- Mecalux S.A. (2017). Mecalux S.A. Obtenido de <https://www.mecalux.es/articulos-delogistica/disen-y-layout-de-un-almacen-6-factores-basicos>.
- Mohsen, M.D. Hassan, (2002) "A framework for the design of warehouse layout", *Facilities*, Vol. 20 Issue: 13/14, pp.432-440
- Montoya, J., Aponte, A. y Rosas, P. (2010). A greedy randomized adaptive search procedure for a single-product uncapacitated facility location problem. *Ingeniería y desarrollo*.
- Mulcahy, D. (1994) *Warehouse Distribution and Operations Handbook*. New York: McGrawHill.
- Peña, D. Neira, A. & Ruíz, R. (2016). APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BALANCEO DE LÍNEA PARA EQUILIBRAR LAS CARGAS DE TRABAJO EN EL ÁREA DE ALMACENAJE DE UNA BODEGA DE ALMACENAMIENTO (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, Guadalajara de Buga, Colombia.
- Palacios L. C. (2016). Dirección Estratégica (Segunda edición ed.). ECOE ediciones.
- Posada, J. G. A. (2011). Aspectos a considerar para una buena gestión en los almacenes de las empresas (centros de distribución, CEDIS). *Journal of Economics, Finance & Administrative Science*, 16(30), 83-96.
- Quala S.A. (2016). ALISTAMIENTO PREVENTA EN DISTRITOS. Obtenido de <http://www.quala.com.co/colombia/quala-colombia/logros-y-reconocimientos-colombia/>
- Riaño, C., & Palomino, M. (2015). PROCESO ANALITICO JERARQUICO PARA EVALUAR TRES LABORATORIOS VIRTUALES EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR (Proyecto de grado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia.
- Rubio-Hurtado, M.-J., y Vilà-Baños, R. (2017). El análisis de conglomerados bietápico o en dos fases con SPSS. *REIRE. Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 10(1), 118-126. doi: <http://doi.org/10.1344/reire2017.10.11017>

Serna, M. D. A., C., J. A. Z., & Pemberthy, J. I. (2010). Reestructuración del layout de la zona de picking en una bodega industrial. *Revista De Ingeniería*, (32), 54-61.

ŠKERLIČ, S., & MUHA, R. (2017). REDUCING ERRORS IN THE COMPANY'S WAREHOUSE PROCESS. *Transport Problems: An International Scientific Journal*, 12(1), 83-92. doi:10.20858/tp.2017.12.1.8

Terrádez, M. (2011). ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS. Universitat Oberta de Catalunya.

Vieira, M. (2014). DISEÑO Y APLICACIÓN DE *SLOTTING* (ASIGNACIÓN DE LOCALIZACIONES A LOS PRODUCTOS) EN MÓDULOS DE *PICKING* (ALISTAMIENTO DE PEDIDOS) EN EL SERVICIO FARMACÉUTICO DEL HOSPITAL PABLO TOBÓN URIBE (Trabajo de grado). Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.

Y. Bassan, Y. Roll, M.J. Rosenblatt. "Internal layout design of a warehouse". *AIIE Transactions*. Vol. 12, No. 4, 1980, pp. 317-322.