

**DISEÑO DE MODELO DE TRANSPORTE PARA LA COMPAÑÍA DE TORTAS  
DE PESCADO Y CARNE DANIEL**

Luz María Traslaviña Medina, ✉ [luz.traslaviname@amigo.edu.co](mailto:luz.traslaviname@amigo.edu.co)  
Estefanía Valencia Cuartas, ✉ [estefania.valenciacu@amigo.edu.co](mailto:estefania.valenciacu@amigo.edu.co)

Asesora: Sara María Aguilar Sierra

Monografía presentada para optar al título de Ingenieras Industriales



Universidad Católica Luis Amigo  
Facultad de Ingeniería, Arquitectura,  
Ingeniería Industrial  
Medellín, Colombia

2020

## Tabla de contenido

Resumen	5
Introducción	6
1 Planteamiento del problema	8
2 Justificación	9
3 Objetivos	10
3.1 Objetivo general	10
3.2 Objetivos específicos	10
4. Situación actual	11
4.1 Datos de la logística de la compañía	11
4.2 Recopilación de información de ruta y clientes	11
4.3 Costos y precios	15
5. Marco teórico	17
5.1 La logística de distribución	17
5.1.1 Medio de transporte:	17
5.1.2 Peso de la carga:	17
5.1.3 Método de embalaje:	17
5.1.4 Manipulación de la carga para cargue y descargue:	18
5.2 La logística terrestre	18
5.3 Problemas de ruteo de vehículos	18
5.3.1 Tipos de VRP (modelo de ruteo de vehículos)	19
5.3.1.1 Ventanas de tiempo VRPTW	19
5.3.1.2 Múltiples Bodegas (MDVRP)	19

5.3.1.3 VRP con backhauls	19
5.3.1.4 VRP con entrega dividida (SDVRP)	20
5.3.1.5 VRP con Despacho y Recolección (VRPPD)	20
5.3.1.6 VRP con demandas estocásticas (VRPSD)	20
5.4 Las MiPymes en Colombia y su cadena de distribución vía terrestre	21
5.5 Investigación de operaciones	21
5.5.1 Origen de la investigación de operaciones y Efecto.	21
5.5.2 Modelado de IO	22
5.5.2.1 Definición del problema	22
5.5.2.2 Formulación de un modelo	22
<b>5.5.2.2.1 Programación lineal</b>	22
<b>5.5.2.2.2 Programación lineal en pequeñas compañías</b>	23
<b>5.5.2.2.3 Modelo de la programación lineal</b>	23
6 Metodología	25
7. Diseño y estructura del nuevo modelo	26
7.1 El Problema del Agente Viajero (TSP)	26
7.2 Heurísticas Clásicas para el VRP	27
7.3 Heurística de barrido	28
8. Análisis y Solución	29
9. Conclusiones y Recomendaciones	35
10 Referencias	36

**Lista de tablas**

Tabla 1 . negocios, tiempos, cantidad y kilómetros	12
Tabla 2 . cantidad de tortas y precios netos	15
Tabla 3 . precio galón	16
Tabla 4 . Primera ruta actual en moto	30
Tabla 5 . Restricciones primer recorrido	31
Tabla 6 comparación ruta actual	32
Tabla 7 . Segundo recorrido actual en moto	33
Tabla 8 restricciones segundo recorrido	34

### **Lista de Figuras**

Gráfico 1 . Gráfico de barras relación tiendas y cantidad de producto	13
Gráfico 2 . Relación tortas por kilómetro	14
Gráfico 3 . Relación tortas por kilómetro en días de lluvia	15

## Resumen

La mayor parte de las empresas en Colombia son MiPymes (micro, medianas y pequeñas empresas), las cuales representan más del 90% del sector productivo nacional, generando el 80% del empleo en familias de bajo recursos. A pesar de su reconocido impacto en la economía nacional, muchas de ellas utilizan métodos de trabajo empíricos que carecen de sustento técnico y teórico dejando pasar oportunidades de mejora por falta de conocimientos logísticos que les permitan optimizar sus modelos de distribución.

El propósito de este proyecto fue contribuir a la compañía de alimentos tortas de pescado y carne Daniel por medio de la ingeniería industrial con métodos de ruteo eucarísticos para el problema de enrutamiento de vehículos (VRP), usando el método de: Problema del Agente Viajero (o TSP por Travelling Salesman Problem) contribuyendo así a la mejora del proceso de distribución en una ruta de canal tradicional (tienda a tienda), de la compañía seleccionada, teniendo en cuenta los pedidos de los clientes y su tiempo de entrega sin alterar la satisfacción, así reestructurando el método logístico de distribución, mediante la implementación de nuevas prácticas logísticas. Con este método logrando una reducción en 13 kilómetros la ruta, disminuyendo tiempo de desplazamiento por lo tanto menos gasto de combustible, sin reducir ventas y la satisfacción del cliente agregando que el uso de las herramientas de la ingeniería industrial, realizan aportes significativos a la mejora de los procesos dentro de las compañías que le permiten controlar de manera más eficiente los recursos asignados para la ejecución de estos.

**Palabras clave:** modelo de transporte, ruteo eucarístico, enrutamiento vehículos, Problema del Agente Viajero

## Introducción

El sistema logístico y correcto uso dependen de la adecuada planificación y puede significar considerables ahorros en tiempo y dinero para las compañías. Los ahorros potenciales mencionados justifican la utilización de métodos de investigación operativa, logística y de distribución; se estima que los costos del transporte representan entre el 10% y el 20% del costo final del producto y/o servicio (Irnich et al, 2014).

El diseño de rutas de distribución es fundamental en la gestión logística, por esta razón se han realizado estudios y propuestas que buscan resolver los problemas de ruteo de vehículos (VRP), ejemplo de esto lo planteado en la formulación de un problema de aplicación para el buen rendimiento del combustible (Dantzig, Ramser, 1959).

Para los procesos logísticos de distribución es muy importante la reducción de los tiempos de entrega, ya que se optimizaría toda la cadena logística creando una mayor rentabilidad para la empresa al disponer de más tiempo para los demás procesos de las compañías.

Muchas de las empresas en Colombia no disponen del uso de software para sus operaciones logísticas, y muchas de ellas es porque no las conocen y/o porque no se encuentran con el conocimiento adecuado para implementarlas en sus procesos, también porque como siempre han realizado sus actividades de una forma empírica y no creen necesario el uso de otras herramientas, sin tener el conocimiento que con la implantación de muchas herramientas y software que en su mayoría son gratis pueden llevar a su compañía a otro nivel, siendo más competitiva y aumentando su rentabilidad (Correa, 2008).

En lo que respecta al enrutamiento de los clientes, la compañía tortas de pescado y carne Daniel trabaja basándose en el conocimiento empírico del domiciliario (operario de entrega) sin el

apoyo de métodos de ruteo o herramientas informáticas que brinden un mayor soporte a la toma de decisiones del área de transporte, lo que se refleja en distancia aproximada total de todas las rutas.

Se realizó un análisis de las rutas actuales encontrando fallas en su modo de ruteo por lo que posteriormente se propuso un plan para brindar soluciones por medio de la programación lineal utilizando un modelo de ruteo entregas a domicilio. Por medio de este trabajo de grado se espera dar a conocer los resultados del análisis realizado empleando métodos de programación lineal, y a la vez integrar la ingeniería industrial al optimizar la ruta de distribución para una empresa.

## **1 Planteamiento del problema**

En Colombia, muchas de las empresas que ofrecen algún producto o servicio se categorizan como micro, pequeñas y medianas empresas (MiPymes), las MiPymes tienen conocimientos de administración y logística muchas veces empíricos, son empresas que toman decisiones en el momento sin contar con inventarios o planes de contingencia y se basan solo en sus ventas del día a día. Estas empresas son de gran importancia para la economía del país ya que muchos de esos puestos de trabajo, y personas que constituyen a esas compañías desde proveedores hasta clientes son personas que pertenecen a los estratos 1 y 2 (Genoveva, 2003).

La compañía de tortas de pescado y carne Daniel, cuenta con un diseño de modelo de transporte que se acomoda a los pedidos de los clientes; esto quiere decir que dependiendo de los pedidos del día hace su ruta, en muchas ocasiones convirtiéndose en un problema ya que los clientes no se encuentran a la misma distancia. Esta compañía lleva en el mercado 5 años y el dueño no tiene conocimientos relacionados con temas de logística, la cual es definida como la integración de las actividades de abastecimiento, producción, transporte, distribución, inventario, almacenamiento, manipulación de materiales y empaque, así como el flujo de información entre ellas, por tal motivo toda la logística de la empresa la realiza la misma persona de manera muy empírica. El problema considerado en este trabajo involucra algunas decisiones del nivel operacional relacionadas con el diseño de la cadena de suministro, Si la compañía de tortas de pescado y carne Daniel poco a poco va adquiriendo conocimientos en logística que la lleven a diseñar mejoras en sus procesos, pueden convertirse en una gran distribuidora de la ciudad, por el gran público que cobija, ya que pueden llegar a facturar mensualmente más de 10 000 000 de pesos libres de gastos. Con el presente trabajo se busca optimizar los costos de la compañía tortas de pescado y carne Daniel y controlar de mejor manera su rentabilidad, así como diseñar otras rutas que ayuden a acceder a nuevos clientes.

## 2 Justificación

La compañía de tortas de pescado y carne Daniel cuenta con un diseño de modelo de transporte estándar en motocicleta; la ruta varía dependiendo de los pedidos del día ya que los clientes no siempre son los mismos y esto altera la ruta de distribución. Por otro lado, los días de lluvia cambia el medio de transporte en que se trasladan los alimentos, pasa de la motocicleta al automóvil teniendo un gasto mayor de combustible, y siendo más complicado buscar estacionamiento para entregar los alimentos.

La compañía cuenta con una red de distribución que toma 4 horas aproximadamente en completar cuando se hacen entregas en motocicleta. La ruta inicia con la entrega de 100 tortas, cantidad limitada por la capacidad de la maleta de la motocicleta, esta ruta varía de acuerdo con el número de clientes que deba visitar en cada recorrido y esto depende de la cantidad de tortas que pida cada cliente. Normalmente, se deben entre tres y cuatro viajes al día para completar un total aproximado de 350 tortas.

Con lo anterior, queda claro que todo el proceso logístico de la empresa de tortas de pescado y carne Daniel carece de fundamentación teórica, por lo que con este proyecto se busca encontrar rutas alternas de distribución, para disminuir los gastos operacionales de la compañía y mantener la satisfacción del cliente. Por medio de diseños de modelos de transporte y logística más acordes y óptimos (Cepeda, 2017).

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Diseñar un modelo de red de distribución y transporte de la compañía de tortas de pescado y carne Daniel, empleando programación lineal.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Diagnosticar y recopilar las falencias de la ruta actual de la compañía de tortas de pescado y carne Daniel a través de la toma de tiempos de entrega.
- Establecer el modelo matemático logístico que responda a los requerimientos del sistema de transporte.
- Diseñar un modelo de ruteo empleando programación lineal.

## 4. Situación actual

### 4.1 Datos de la logística de la compañía

La compañía de tortas de pescado y carne Daniel es una compañía de alimentos como su nombre lo indica, ubicada en el barrio 12 de octubre en Medellín, su red de distribución abarca 20 tiendas ubicadas en todo el territorio del Valle de Aburrá.

Las tortas tienen un valor unitario de 1600 COP, los alimentos se reparten en una motocicleta con una canasta de metal que sostiene otras 2 canastas de plástico en las cuales va la mercancía.

La ruta se hace en la madrugada, inicia a las 3 am y termina aproximadamente a las 6 am.

### 4.2 Recopilación de información de ruta y clientes

Se tomaron los minutos y los kilómetros que demora el domiciliario en desplazarse de tienda en tienda; con un total de 69.2 Km. y un tiempo de recorrido total de 2 h 35 min, transportando un total de 265 tortas, llevando 4 tortas por kilómetro; con un total de 20 clientes.

La ruta se encuentra dividida en 2 momentos; el primero cuando transporta un total de 160 tortas a 11 panaderías. Luego, regresa al CEDI (centro de distribución) por más producto para iniciar el segundo momento (la segunda entrega); transportando un total de 107 tortas.

En la tabla 1 puede observarse que luego de salir a realizar la segunda entrega (que inicia cuando sale del CEDI), deja cinco tortas en las panaderías **Juanes de la paz** y **La 86**, incumpliendo el promedio de 4 tortas por kilómetro. Esto representa un problema ya que se puede llegar a desplazarse una gran distancia para dejar el mínimo de producto son 5 tortas.

*Tabla 1. negocios, tiempos, cantidad y kilómetros*

PANADERÍA	TIEMPO RECORRIDO	KILOMETROS RECORRIDO	CANTIDAD DE TORTAS
Carga producto	0 min	0 Km	160
Tranquipan	5 min	1.2 Km	10 p y 10 c
Melipan	8 min	3.9 Km	5 p y 5 c
Panpan	2 min	0.2 Km	5 p
Antojos de la 65	10 min	4.1 Km	10 p y 10 c
Q pollo	9 min	2.6 Km	10 p y 5 c
Metrospan	5min	1.2 Km	5 p y 5 c
Ricura Inés	8min	3 Km	5 p y 5 c
Antojitos	4min	2 Km	20 p y 20 c
Solo ricuras	7min	3.5 Km	5 p y 5 c
Las delicias del sabor	4min	1.5 Km	5 p y 5 c
Súper pan	7min	1.3 Km	5 p y 5 c
CEDI	10min	3 Km	105
Juanes la Paz	7min	4 Km	5 c
Camipan	12min	5.2 Km	10 p y 10 c
Frespan	10min	2.7 Km	10 p y 10 c
Frutos	18min	9.5 Km	5 p y 5 c
Estadio Buñuelos	2min	0.9 Km	10 p y 10 c
La Península	11min	5 Km	5 p y 5 c
Mil y una delicia	7min	3.2 Km	5 p y 5 c
La 86	20min	9.8 Km	5 c
Yolipan	5min	2 Km	5 p
CEDI	2 min	0.2	0

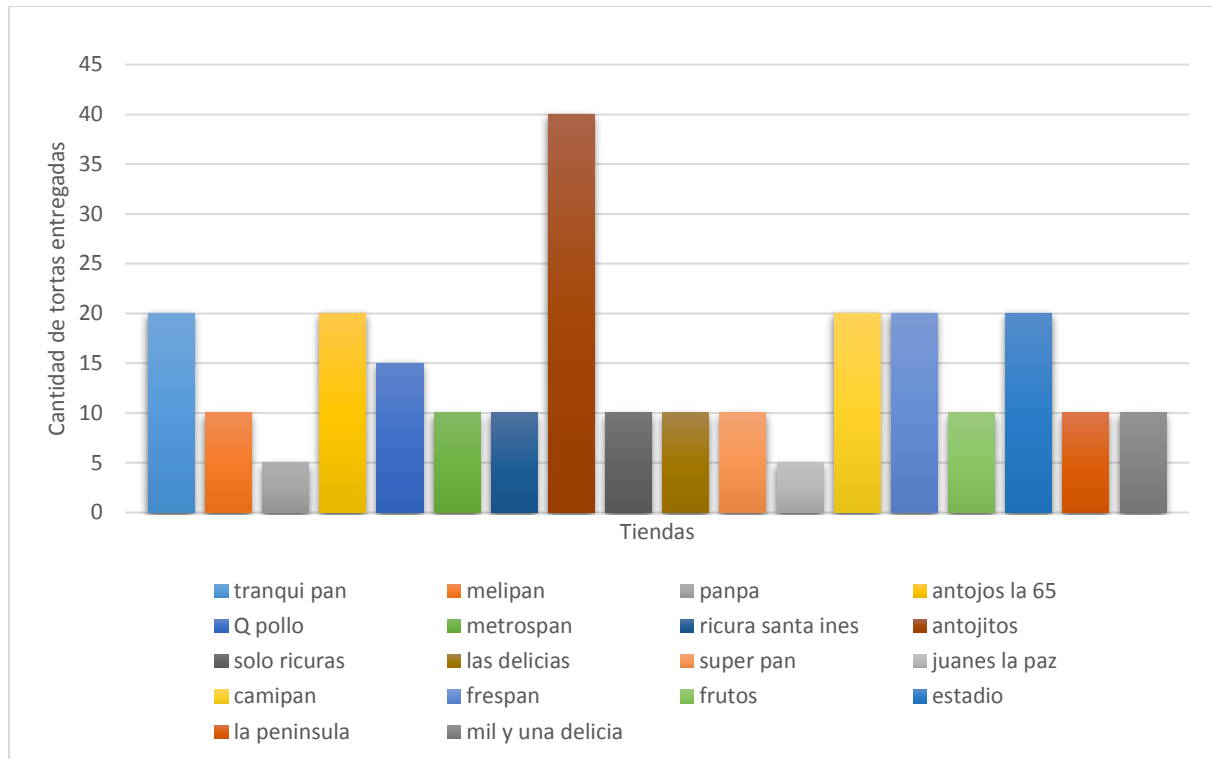


Gráfico 1. Gráfico de barras relación tiendas y cantidad de producto

En el gráfico 1 se puede observar la cantidad de producto entregado en cada tienda; se observa que la mínima cantidad de tortas que compran es de 5 tortas y la máxima son 40 tortas.

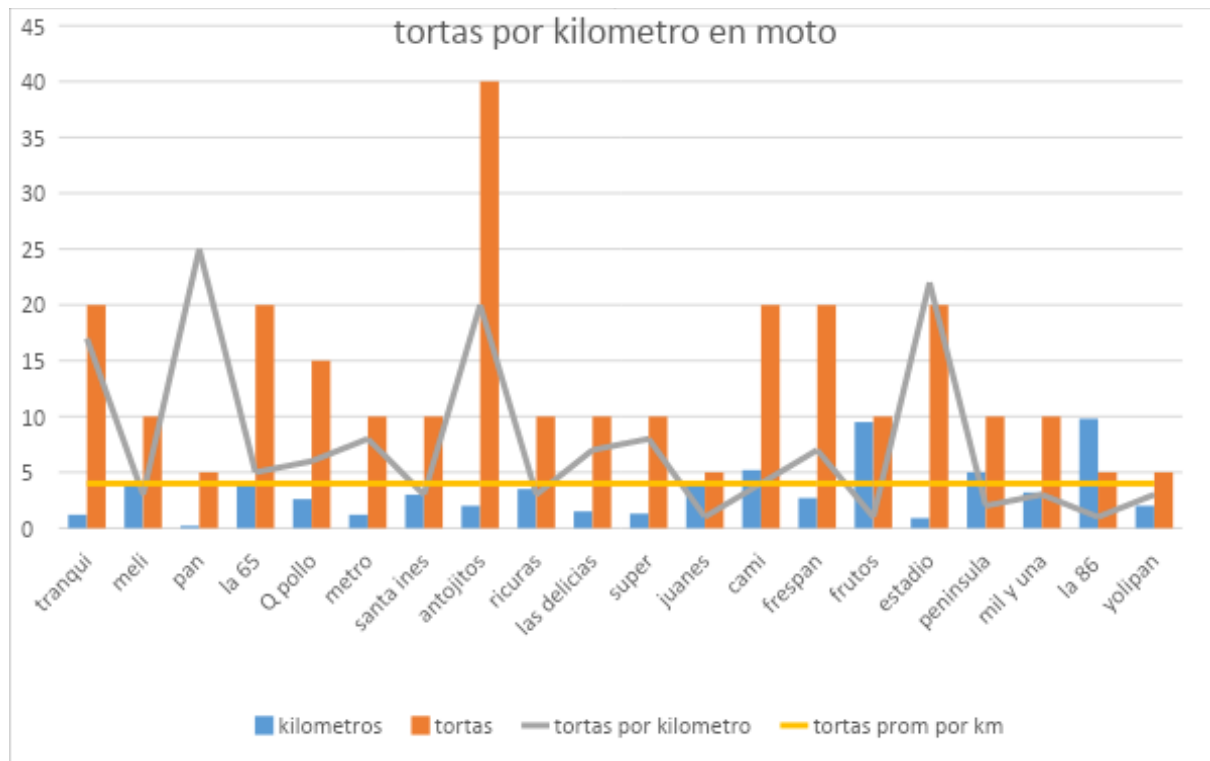


Gráfico 2. Relación tortas por kilómetro

En el gráfico 2 se presentan los kilómetros recorridos por el repartidor y la cantidad de tortas que deja en cada tienda; también es posible observar las tortas que transportan 4 tortas en promedio por kilómetro.

La línea gris indica las tortas que se transportan en tiempo real por kilómetro, se observa que en muchos casos no se cumple el promedio de 4 tortas por kilómetro y en otros casos se sobrepasa por mucho el promedio calculado, como es el caso de Pan, Antojitos y Estadio.

En los días de lluvia los productos son transportados en automóvil lo que incrementa los tiempos de los recorridos y los kilómetros viajados para repartir la misma cantidad de producto. Mostrando un mayor gasto generado por el aumento de tiempo y combustible que se requiere para repartir la misma cantidad de producto.

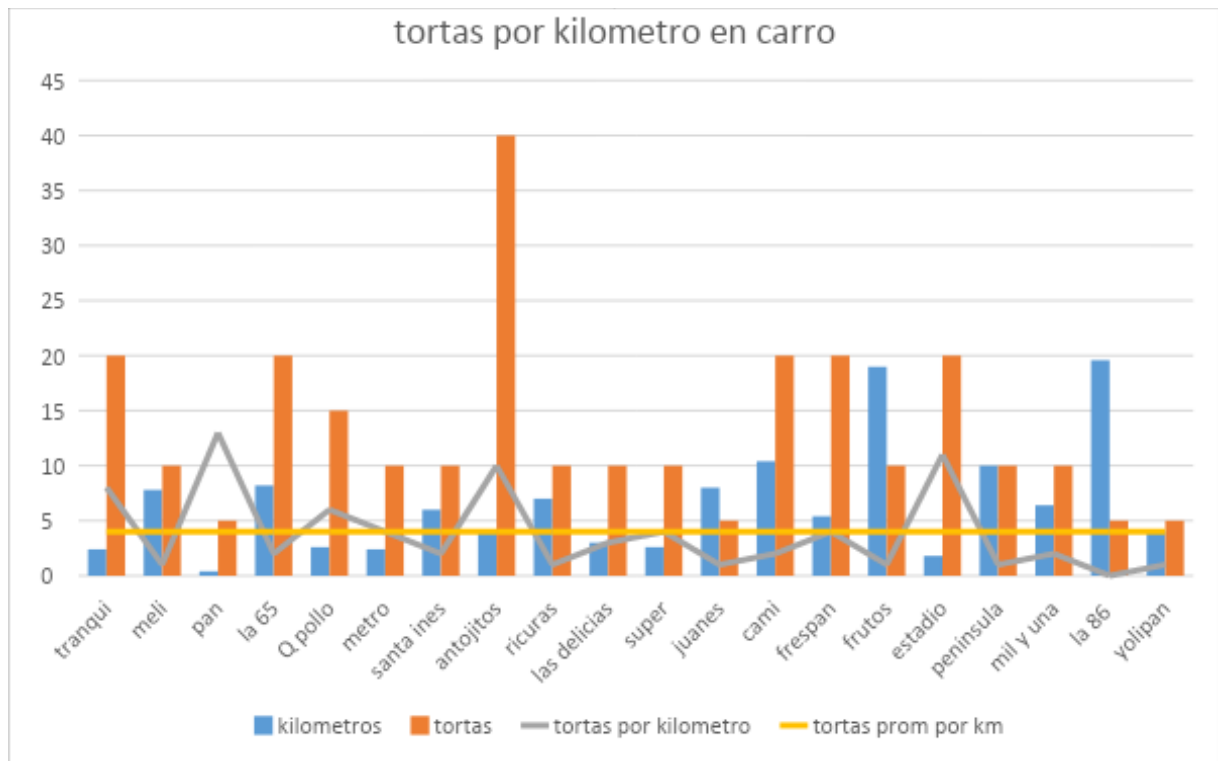


Gráfico 3. Relación tortas por kilómetro en días de lluvia

### 4.3 Costos y precios

Tabla 2. cantidad de tortas y precios netos

Nombre de la tienda	Cantidad de tortas	Venta neta
Tranqui	20	32.000
Melipan	10	16.000
Pan	5	8.000
La 65	20	32.000
Q pollo	15	24.000
Metro pan	10	16.000
Santa Inés	10	16.000
Antojitos	40	64.000

Ricuras	10	16.000
Las delicias	10	16.000
Súper pan	10	16.000
Juanes	5	8.000
Camipan	20	32.000
Frespan	20	32.000
Frutos	10	16.000
Estadio	20	32.000
Península	10	16.000
Mil y una delicia	10	16.000
La 86	5	8.000
Yolipan	5	8.000
Total:	265	424.000

Las ventas están entre un valor de 8.000 pesos mínimo y la máxima venta registrada por tienda es de 64.000 pesos

El pago de estos alimentos es contra entrega, por lo tanto, el domiciliario no tiene que volver para cobrar dichos productos.

En promedio una motocicleta de consumo económico es de 3.6 litros de gasolina por cada 100 kilómetros de trayecto.

El precio de un galón de gasolina en Medellín es de 8.000 COP galón.

*Tabla 3. precio galón*

---

1 galón = 3,78541litros
3.6 litros = 0.95101 galones
0.95101 gal = 100 Km
69.2 Km = 0.6580 gal
0.6580 gal = 5300 COP

---

## **5. Marco teórico**

### **5.1 La logística de distribución**

Una vez finalizado el proceso de producción, el producto final debe ser transportado hasta su destino final. Tanto el productor como el cliente determinan el lugar de entrega y el medio de transporte para su llegada, así como también los costos inherentes a dicha transacción. Para llevar a cabo en forma adecuada este proceso se deben analizar los factores que se mencionan a continuación, los cuales deben ser verificados al inicio del proceso, buscando que no se presenten inconvenientes para ninguna de las partes involucradas.

#### **5.1.1 Medio de transporte:**

Para definir un medio de transporte (férreo, aéreo y marítimo) se debe evaluar el tiempo requerido para la entrega del producto, tamaño y tipo del producto, luego de esto se calcularán los costos.

#### **5.1.2 Peso de la carga:**

El peso de la carga se utiliza para determinar el tamaño y capacidad del transporte que se debe utilizar para hacer el envío. En algunos casos es importante tener en cuenta que no todos los productos de mayor volumen son igualmente pesados y por el contrario no todos los productos de mayor peso son voluminosos. Es necesario evaluar las dos variables para poder solicitar un transporte a la medida de las necesidades y conveniencia económica.

#### **5.1.3 Método de embalaje:**

Los métodos de embalaje varían de un producto a otro, pero su objetivo final es proteger el producto durante su recorrido hasta la entrega final que es en las instalaciones del cliente.

#### **5.1.4 Manipulación de la carga para cargue y descargue:**

Para la manipulación de la carga, se tiene en cuenta el personal humano que soporta el proceso de cargue y descargue y los equipos tales como, montacargas, plumas o gatos hidráulicos para transporte manual de elementos. La importancia del proceso de distribución se centra entonces, en todos los procedimientos y requerimientos necesarios para asegurar que el cliente reciba el producto de acuerdo con sus necesidades (Medio real, 2014).

### **5.2 La logística terrestre**

La logística terrestre, es la implementación de vehículos en los procesos de distribución de una empresa, es el medio más utilizado para hacer entregas a nivel nacional e internacional, pero puede generar dificultades, si no se tiene una buena planificación; ya que algunas vías y carreteras se encuentran en mal estado y en muchas ocasiones la congestión vial hace imposible el desplazarse y otros problemas que se pueden encontrar dependiendo del lugar al cual se transporte. Pero así mismo trae sus ventajas, como su trazabilidad, seguridad de la mercancía, rapidez, bajo costo, entre otras (Castellanos, 2009).

### **5.3 Problemas de ruteo de vehículos**

El problema de ruteo de vehículos se centra en diagnosticar las mejores rutas y/o asignaciones para la entrega de bienes a clientes que están distribuidos geográficamente.

La decisión que involucra el VRP (modelo de ruteo de vehículos) es establecer un grupo de clientes a un grupo de vehículos. VRP es concebir la entrega de ciertos productos, minimizando tiempo, distancia y/o recursos económicos, representados en costos fijos y variables. Lo anterior se alcanza respetando las restricciones relacionadas con recursos disponibles, límite de tiempo en la jornada laboral de los empleados, velocidad de viaje, requerimientos de los clientes, características de los vehículos, entre otros. (Gábor et al, 2020)

### **5.3.1 Tipos de VRP (modelo de ruteo de vehículos)**

Dentro de la literatura se pueden encontrar diferentes modelos del VRP, adicionalmente existen diferentes tipos de problemas que se encuentran establecidos por los valores que pueden tomar los parámetros o variables que componen los principales problemas de ruteo son los siguientes:

#### ***5.3.1.1 Ventanas de tiempo VRPTW***

El propósito del VRPTW es, además de acortar la flota y los tiempos/costos de viaje, acortar los tiempos de espera, recién definidos. Las ventanas de tiempo pueden ser hard o soft. En el caso de las ventanas hard, si un vehículo llega antes del inicio de la ventana a un cliente, está autorizado esperar hasta que el cliente esté listo para recibir el servicio. Sin embargo, no está permitido llegar al destino después del final de la ventana de tiempo. En contraste, en las ventanas de tiempo soft, estas pueden ser incumplidas a una tarifa. En algunos casos, es probable que un cliente tenga más de una ventana (Campo, 2018).

#### ***5.3.1.2 Múltiples Bodegas (MDVRP)***

En esta variación del problema de ruteo de vehículos, no se tiene muchas bodegas donde cada una tiene asociada una flota de vehículos, que deben servir a los clientes; por lo cual se evidencia un problema adicional, asignar los clientes a las distintas bodegas. También se puede complejizar más el problema, permitiendo que los vehículos no obligatoriamente vuelvan a la misma bodega de la que partieron (Gábor et al, 2020).

#### ***5.3.1.3 VRP con backhauls***

El problema de ruteo con backhauls es un VRP en el cual los clientes pueden recibir o entregar productos a los vehículos. Line hauls son los clientes que reciben productos de la bodega, y backhaul son los clientes que envían productos de vuelta a la bodega. El supuesto crítico radica en que todos los despachos deben ser hechos en cada ruta antes que cualquier reincorporación sea

hecha. Esto se debe al hecho de que no es factible re ordenar la carga de los vehículos durante la ruta (Jacobs-Blecha et al, 1992).

#### ***5.3.1.4 VRP con entrega dividida (SDVRP)***

SDVRP es una relajación del VRP donde está autorizado que el mismo cliente pueda ser servido por diferentes vehículos, si esto reduce el costo total. Esta relación es muy valiosa si los tamaños de las órdenes de los clientes son muy grandes en comparación con la capacidad de los vehículos (Ballou, 2004).

#### ***5.3.1.5 VRP con Despacho y Recolección (VRPPD)***

El problema de ruteo de vehículos con despacho y recolección es un VRP en el cual existe la posibilidad de que los clientes devuelvan productos. Es usual considerar algún obstáculo del problema, como son, todos los productos que se despachan vienen de la bodega, y todos los productos que se devuelven deben ser enviados a la bodega, es decir, no se permite el intercambio de productos entre los clientes. Otra alternativa es aflojar la restricción que hace alusión a que todos los clientes deben ser visitados fielmente una vez (Tang, 2006).

#### ***5.3.1.6 VRP con demandas estocásticas (VRPSD)***

El problema de ruteo de vehículos con demanda estocástica (VRPSD) es una variación del CVRP donde cada demanda de los clientes es incierta, en lugar de ser conocida exactamente a priori. El VRPSD surge en la práctica cada vez que una empresa se enfrenta al problema de las entregas a una agrupación de clientes, cuyas exigencias son inciertas. En esta formulación, se supone que la demanda de cliente  $q_i$  es una variable aleatoria discreta cuya distribución de probabilidad se especifica por  $p_i(k)$ , es decir, la probabilidad de que el cliente requiera una cantidad  $q_i = k$  de mercancías, con  $k = 0, 1, \dots, K$ , y  $K \leq Q$ . En la VRPSD también se asume que la demanda real de los clientes sólo se conoce cuando el vehículo llega a la ubicación del cliente (Gelves et al, 2016).

#### **5.4 Las MiPymes en Colombia y su cadena de distribución vía terrestre**

Las MiPymes en Colombia comprenden una gran parte de la economía del país. Aunque muchas no estén constituidas ante la cámara de comercio cobijan una gran cantidad de clientes.

En muchas ocasiones se ha visto que la red de distribución no es óptima y esto sucede en gran medida por la falta de conocimiento necesario para implementar una logística de distribución que disminuya costos operacionales en su cadena de suministros, y así obtener una mayor satisfacción al entregarse los pedidos a tiempo y en buenas condiciones, ya que este factor es relevante en cualquier empresa para su crecimiento.

Sin embargo, esto se puede mejorar implementando el estudio de investigación de operaciones, con un modelo matemático (Genoveva, 2003).

#### **5.5 Investigación de operaciones**

##### **5.5.1 Origen de la investigación de operaciones y Efecto.**

Los orígenes de la investigación de operaciones (IO) pueden encontrarse mucho tiempo atrás, cuando se hicieron los primeros intentos por emplear el método científico para administrar una empresa. Pero, el comienzo de la actividad llamada investigación de operaciones es atribuible a ciertos servicios militares que se prestaron al inicio de la Segunda Guerra Mundial. Debido a los esfuerzos bélicos, existía la urgente necesidad de asignar recursos escasos a las distintas maniobras militares y actividades que componían cada operación de la manera más eficaz. Por lo tanto, las administraciones militares estadounidense y británica convocaron a muchos científicos para que aplicaran el método científico a éste y a otros problemas estratégicos y tácticos. En realidad, les solicitaron que hicieran investigación sobre operaciones (militares).

Dado que es un método que se originó ya hace tiempo atrás, su efecto en la industria es realmente positivo; por consiguiente, muchas empresas en distintos lugares del mundo la han acogido y la practican en su desarrollo como organización (Eppen et al, 2000).

### **5.5.2 Modelado de IO**

Es un método para que la toma de decisiones sea más asertiva del tema que se esté estudiando, a continuación, se presentan los pasos para realizar un modelado de IO.

1. Definición del problema de interés y recolección de datos importantes.
2. Formulación de un modelo matemático que represente el problema de interés.

Después de esto analizarán cada numeral (Hillier, 2010).

#### ***5.5.2.1 Definición del problema***

Se define un problema o tema de interés a estudiar y resolver con asesoría. Se definen unos objetivos, este momento es muy importante ya que dependiendo en que vaya enfocados los objetivos se verán afectadas las siguientes áreas de una empresa:

- 1) Los dueños
- 2) Los empleados
- 3) Los clientes
- 4) Los proveedores
- 5) El gobierno

¿Por qué estas cinco partes se verán afectadas?; porque dependiendo los objetivos del problema representa un avance en la compañía por lo tanto debe influir para bien y no para mal y se debe ver reflejado en las ganancias de la empresa (Hillier, 2010).

#### ***5.5.2.2 Formulación de un modelo***

Los modelos matemáticos son realmente importantes en la industria y en cualquier área de la vida ya que con ellos se pueden tomar  $n$  decisiones basadas en un modelo anteriormente planteado. (Hillier, 2010).

##### ***5.5.2.2.1 Programación lineal***

La programación lineal se dedica tanto a maximizar cómo optimizar una función buscando un objetivo, de tal forma que las variables estén sujetas a una serie de restricciones expresadas mediante un sistema de ecuaciones; la programación lineal se puede aplicar en empresas pequeñas

y medianas y dado que trabajaran en una compañía pequeña, abordaron con la programación lineal el modelo de transporte de la compañía de tortas de pescado y carne Daniel.

#### ***5.5.2.2.2 Programación lineal en pequeñas compañías***

La técnica de la programación lineal usualmente no es aprovechada por las MiPymes, pero es un componente esencial para el desarrollo social ya que ayuda a tener un mejor análisis en el servicio de dichas compañías.

En la programación lineal las variables no son negativas, son positivas o ceros que se pueden ligar entre sí mediante relaciones de desigualdad o igualdad y que reflejan las limitaciones o restricciones que el fenómeno presenta con miras a optimizar un objetivo, puede ser formulado como un modelo de programación matemática.

En este caso, la palabra programación se usa con un significado de planificación; planear actividades para llegar a un resultado óptimo pero el problema de programación lineal trata acerca de maximizar o minimizar de una función lineal de varias variables primarias, llamada función objetivo, con sujeción a un conjunto de igualdades o desigualdades lineales llamadas restricciones, con la condición adicional de que ninguna de las variables puede ser negativa; ya que se están buscando soluciones, todas las variables aunque puedan ser problemas en la organización ayudan indirectamente para llegar a una mejor solución por lo tanto no se deben convertir en variables negativas. En resumidas palabras la programación lineal son variables positivas que tienen restricciones, que deben estar disponibles a los recursos así encontrando la solución óptima (Bermudez, 2011).

#### ***5.5.2.2.3 Modelo de la programación lineal***

La programación lineal es un modelo o matriz en el que se incluyen:

- Costos e ingresos generados por unidad de actividad (función objetivo).
- Aportes y requerimientos de insumos y productos por unidad de cada actividad considerada (coeficientes insumo/producto).
- Disponibilidad de recursos, especificaciones técnicas y empresariales a respetar (valores del lado derecho de las restricciones).

Y consta de objetivos y restricciones; las cuales se obtienen de la empresa y/o el proceso que se esté estudiando.

El objetivo se llama función objetivo y la meta debe ser maximizar o minimizar esa expresión. La función objetivo lineal se puede representar de las siguientes maneras:

$$Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n \text{ o utilizando la notación de sumatorias } Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

Dónde: Z = Función objetivo lineal.

$C_j$  = Precio neto o costo unitario, según sea el modelo.

$X_j$  = Actividad o proceso.

Según la estructura del modelo se le asigna la meta al objetivo. La programación lineal puede también aplicarse a los problemas de reducción de costos y estos programas parten de un diferente conjunto de criterios para su optimización. Los coeficientes  $C_1, C_2, \dots, C_n$  son los coeficientes de costo (conocidos) o de ingresos, según el tipo de problema que estemos resolviendo. Por otra parte,  $X_1, X_2, \dots, X_n$  son las variables de decisión (variables, o niveles de actividad) que deben determinarse de tal manera que se alcance el objetivo dentro de las restricciones que enfrenta el problema.

Las restricciones, expresadas mediante desigualdades lineales, están compuestas por los coeficientes técnicos ( $A_{ij}$ ), las actividades o procesos ( $X_n$ ), las cuales también se tomaron en cuenta en la función objetivo y además los niveles o limitaciones ( $B_i$ ). El conjunto de restricciones se expresan de la siguiente manera:  $A_{11} X_1 + A_{12} X_2 + \dots + A_{1n} X_n \leq B_1$ ,  $A_{21} X_1 + A_{22} X_2 + \dots + A_{2m} X_n \geq B_2$ ,  $\dots$ ,  $A_{m1} X_1 + A_{m2} X_2 + \dots + A_{mn} X_n = B_m$ ,  $X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0$ . Según Beneke y Winterboer, hay tres tipos básicos de restricciones: de “mayor que” ( $\geq$ ), de “menor que” ( $\leq$ ) o de igualdad ( $=$ ), y estas pueden ser clasificadas en razón a su naturaleza.

Las restricciones están dadas por la compañía, como:

- Riesgo de actividades
- Presupuesto
- Restricciones de entrada como es la información.

Entre otras. Todo esto se toma en cuenta para realizar la matriz de programación lineal y llegar a la solución óptima para la compañía; y más si es una MiPymes la cual puede obtener mucho provecho de este método (Alvarado, 2009).

## 6 Metodología

- Se buscó información indexada sobre investigaciones relacionadas con modelos de transporte, para así tomar decisiones metodológicas.
- Se entrevistó al transportista de la compañía para obtener la información que se requería para la programación lineal y puntos de referencia que son útiles para la compañía, tales como horario en que se hace la distribución, número total de clientes, número total de entregas de cada tipo de torta, posibles inconvenientes que se presentan en la ruta actual.
- Se estudió la ruta con la cual la compañía trabaja actualmente y sus tiempos de distribución por medio de un acompañamiento en los días de distribución; consumo de gasolina y capacidad de almacenamiento de las tortas en sus tres (3) entregas diarias a través de la medición de tiempos; dicha información se organizó en cuadros y se trabajó en un modelo para por medio de programación lineal encontrar una nueva ruta que acortará la distancia en kilómetros y con esto se logrará optimizar tiempos y rutas y disminuir consumos de gasolina.
- Se realizó una búsqueda de software que fuera libre para realizar la programación lineal. Se empleó el software Solver de Excel.
- Se eligió la metodología del agente viajero como la más acorde a los objetivos del trabajo.
- Se diseñaron nuevas rutas de distribución para la compañía luego de estudiar información suministrada por la compañía y la información entregada por el software; recorriendo distancias más cortas y generando el menor gasto posible de recursos como el combustible, teniendo un tiempo de entrega mejor por medio de modelos matemáticos.

## 7. Diseño y estructura del nuevo modelo

El problema de distribuir productos desde ciertos depósitos a sus usuarios finales juega un papel central en la gestión de algunos sistemas logísticos y su adecuada planificación puede significar considerables ahorros. Esos potenciales ahorros justifican en gran medida la utilización de técnicas de Investigación Operativa como facilitadoras de la planificación, dado que se estima que los costos del transporte representan entre el 10% y el 20% del costo final de los bienes (Irnich et al, 2014).

### 7.1 El Problema del Agente Viajero (TSP)

En el Problema del Agente Viajero (o TSP por Travelling Salesman Problem) se dispone de un solo vehículo que debe visitar a todos los clientes en una sola ruta y a costo mínimo. No suele haber un depósito (y si lo hubiera no se distingue de los clientes), no hay demanda asociada a los clientes y tampoco hay restricciones temporales. El problema puede formularse como:

$$\begin{aligned} \min \sum_{(i,j) \in E} C_{ij} X_{ij} & \text{Ecuación 1} \\ \text{s. a. } \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ij} = 1 & \quad \forall i \in V \quad \text{Ecuación 2} \\ \sum_{i \in \Delta^-(j)} X_{ij} = 1 & \quad \forall j \in V \quad \text{Ecuación 3} \\ \sum_{i \in S, j \in \Delta^+(i) \setminus S} X_{ij} \geq 1 & \quad \forall S \subset V \quad \text{Ecuación 4} \\ X_{ji} \in \{0,1\} & \quad \forall (i,j) \in E \end{aligned}$$

Esta formulación fue propuesta por Dantzig, Fulkerson y Johnson. Las variables binarias  $X_{ij}$  indican si el arco  $(i, j)$  es utilizado en la solución.

La función objetivo (Ecuación 1) establece que el costo total de la solución es la suma de los costos de los arcos utilizados. Las restricciones Ecuaciones 2 y 3 indican que la ruta debe llegar y abandonar cada nodo exactamente una vez. Finalmente, las restricciones de la Ecuación 4 son llamadas restricciones de eliminación de sub-tours e indican que todo subconjunto de nodos  $S$  debe ser abandonado al menos una vez. Notar que si no se impusieran estas restricciones la solución podría constar de más de un ciclo. Esta solución viola la restricción de la Ecuación 4 para  $S = \{0, 1, 2\}$ . Existen diferentes tipos de restricciones de eliminación de sub-tours.

Asumiendo que  $|E| = O(n^2)$ , esta formulación tiene una cantidad  $O(n^2)$  de variables binarias y  $O(2^n)$  restricciones. El problema puede formularse con una cantidad polinomio de restricciones, agregando variables reales  $U_i$  para  $i = 1, \dots, n$  y sustituyendo las restricciones (Ecuación 4) por:  $U_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad \forall (i, j) \in E, i \neq 0, j \neq 0$ .

Estas desigualdades fueron propuestas por Miller, Tucker y Zemlin y fuerzan a que las variables reales determinan una cantidad estrictamente creciente a lo largo de la ruta (es decir,  $u_j \geq u_i + 1$  si  $j$  es visitado inmediatamente después que  $i$ ). Bajo la hipótesis de que  $|E| = O(n^2)$ , en esta nueva formulación hay  $O(n^2)$  variables binarias,  $O(n)$  variables positivas y  $O(n^2)$  restricciones. Sin embargo, esta formulación no resulta apta para la resolución de problemas de tamaño considerable mediante métodos exactos, pues si bien se disminuye la cantidad de restricciones, la cota que se obtiene resolviendo su relajación lineal resulta en general poco ajustada. La mayor parte de los problemas de ruteo de vehículos son generalizaciones del TSP. En ese sentido, este puede considerarse el problema de ruteo de vehículos más simple. No obstante, pertenece a la clase de problemas NPHard y es uno de los Problemas de Optimización Combinatoria más clásico y difundido (Fuentes, 2013).

## 7.2 Heurísticas Clásicas para el VRP

Se presentarán algunas de las heurísticas clásicas más significativas para el VRP con capacidades y, en algunos casos, la restricción sobre el largo máximo de cada ruta.

Son procedimientos simples que realizan una exploración limitada del espacio de búsqueda y dan soluciones de calidad aceptable en tiempos de cálculo generalmente moderados. Las

soluciones obtenidas con esta clase de procedimientos pueden, en general, ser mejoradas utilizando métodos de búsqueda más sofisticados, pero incurriendo en elevados tiempos de ejecución. Muchas de estas heurísticas pueden ser extendidas para manejar restricciones adicionales a las del VRP.

### 7.3 Heurística de barrido

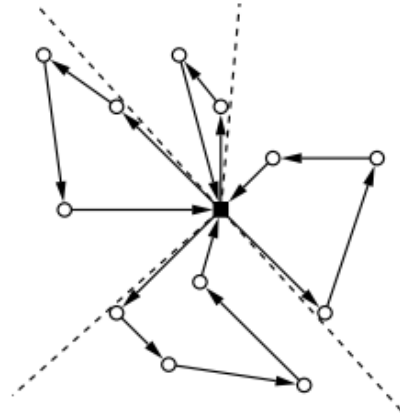
En la heurística de barrido los clusters se forman girando una semirrecta con origen en el depósito e incorporando los clientes “barridos” por dicha semirrecta hasta que se viole la restricción de capacidad. Cada cluster es luego ruteado resolviendo un TSP de forma exacta o aproximada. Este algoritmo puede aplicarse en problemas planos, es decir, en los que cada nodo se corresponde con un punto en el plano y las distancias entre ellos se definen como la distancia Euclides. Se supone que cada cliente  $i$  está dado por sus coordenadas polares  $(\rho_i, \theta_i)$  en un sistema que tiene al depósito como origen (Fuentes, 2013).

Paso 1 (inicialización): Ordenar los clientes según  $\theta$  de manera creciente. Si dos clientes tienen igual valor de  $\theta$ , colocar primero el de menor valor de  $\rho$ .

Seleccionar un cliente  $w$  para comenzar y hacer  $k:= 1$  y  $C_k:= \{w\}$

Paso 2 (selección): Si todos los clientes pertenecen a algún cluster, ir a 3. Si no, seleccione el siguiente cliente  $w_i$ . Si  $w_i$  puede ser agregado  $C_k$  sin violar las restricciones de capacidad, hacer  $C_k := C_k \cup \{w_i\}$ . Si no, hacer  $k:= k + 1$  y crear un nuevo cluster  $C_k:= \{w_i\}$ . Ir a 2.

Paso 3 (optimización): Para cada cluster  $C_k$  para  $t = 1, \dots, K$ , resolver un TSP con sus clientes. 16 Por la forma en que se generan los clusters, las rutas obtenidas no se superponen, lo que puede ser bueno en algunos casos. Un posible resultado de la aplicación de este algoritmo se muestra en la imagen 1 donde las líneas punteadas indican los límites de los clusters.



*Imagen 1. Una solución obtenida mediante el algoritmo de barrido*

El procedimiento se repite  $n$  veces, comenzando en cada ejecución por un cliente diferente. Se propone además un procedimiento para eliminar clientes de cada ruta finalizada e insertar clientes que aún no fueron visitados, en el caso que esto disminuya el costo de la ruta. Los clientes eliminados de la ruta serán barridos por alguna ruta posterior. Utilizando esta variante las rutas pueden solaparse.

## 8. Análisis y Solución

Se utilizó el método de agente viajero que está especificado en el numeral 7.1. Se usó este método ya que se acopla perfectamente al recorrido actual realizado por la empresa Tortas de pescado y carne Daniel. El método de agente viajero tiene como condiciones salir de un punto, hacer el recorrido sin repetir puntos y luego regresar al punto inicial. En la empresa, la persona encargada de distribuir el producto debe salir del CEDI, ir a todas las panaderías una sola vez y luego regresar al CEDI.

En la tabla 4 se muestra la ruta actual que se hace en la motocicleta, y sus respectivas distancias desde el CEDI hasta cada una de las panaderías, y desde cada una de las panaderías hasta todas las demás panaderías. Estas distancias las usa el software para, por medio de la programación, encontrar la ruta óptima y que corresponde con la ruta que genera menor consumo de gasolina y la



La tabla 5, muestra la nueva ruta generada por Solver analizando las distancias de desplazamiento dadas en la tabla 4 y teniendo como restricción: no pasar por el mismo lugar 2 veces, salir del CEDI hacer el recorrido yendo a cada panadería una vez y regresar al CEDI. Los resultados se presentan de forma binaria (0-1) y se leen de la siguiente manera: saliendo del CEDI (primera celda) debe dirigirse a la panadería de la misma fila del CEDI buscando el número 1, el número 1 dice cuál es la panadería más cercana al CEDI, en este caso es Delicias del sabor (resaltado en rojo). Luego, se debe de buscar en la columna a la izquierda Delicias del sabor y nuevamente desplazarse de manera horizontal por la fila buscando el número 1, para así saber cuál es la siguiente panadería por visitar (Tranquipan). Después, se debe buscar Tranquipan en la columna a la izquierda y repetir el proceso de buscar el número 1 para saber a qué panadería se debe dirigir ahora, la cual es la más cerca de la anterior; y así sucesivamente se hace el barrido por todas las panaderías obtenido como resultado el orden de visitas presentado en la tabla 6 cumpliendo las restricciones de acortar tiempos y distancias y por ende disminuyendo el gasto de gasolina.

Tabla 6 comparación ruta actual

COMPARACION DE LA RUTA ACTUAL CON LA NUEVA RUTA			
RUTA ACTUAL		NUEVA RUTA	
PANADERIAS	KILOMETROS RECORRIDOS	PANADERIAS	TOTAL DE KILOMETROS
CEDI	0	CEDI	25
Tranquipan	1,2	Las delicias del sabor	
Melipan	3,9	tranquipan	
Panpan	0,2	Solo ricuraas	
Antojos de la 65	4,1	Melipan	
Q pollo	2,6	Antojitos	
Metros Pan	1,2	Panpan	
Ricuras Santa Ines	3	Ricuras Santa Ines	
Antojitos	2	Metros Pan	
Solo ricuras	3,5	Q pollo	
Las delicias del sabor	1,5	Antojos de la 65	
Súper Pan	1,3	Súper Pan	
CEDI	3	CEDI	
<b>TOTAL DE KIOMETROS</b>	<b>27,5</b>		

En la tabla 6 se presenta la comparación de la ruta actual empleada por la empresa comparada con la ruta óptima según las distancias que los separa (al lado derecho se encuentra el orden actual de las visitas y la totalidad de kilómetros que se debe recorrer y al lado izquierdo el nuevo orden de visitas y también la nueva distancia en kilómetros que recorrerá, este nuevo orden tiene presente las distancias más cortas entre ellas para así generar el nuevo orden de visitas), dejando ver claramente cómo se reduce la distancia considerablemente de 27,5 kilómetros a 25 kilómetros.

Se presenta la comparación entre la ruta actual y la ruta propuesta, en listando el orden de las visitas saliendo y llegando al CEDI, para el caso de la nueva ruta, cumpliendo las restricciones de visitar todas las panaderías solo una vez y haciendo el recorrido de panadería a panadería usando las distancias en kilómetros más cortas entre sí.

En la tabla 7, al igual que en la tabla 4 se observan las diferentes panaderías donde se hace entrega de los productos (torta de carne y pescado), pero esta vez en la ruta 2, después de regresar al CEDI por más producto dado que el medio de transporte (motocicleta) no tiene la capacidad para en una sola ruta llevar toda la cantidad de producto para satisfacer todas las panaderías (clientes). Los nombres de las panaderías están en la primera fila y en la primera columna, la información que hay entre ellas son las distancias desde cada una de las panaderías a todas las demás panaderías.

Tabla 7. Segundo recorrido actual en moto

PANADERIAS	CEDI	Juanes de la Paz	Camipan	Frespan	Frutos	Estadio Buñuelos	La Peninsula	Mil y una delicia	La 86	Yolipan
CEDI		2,2	6,6	7,8	6,2	6,3	8,3	13	2,1	1,1
Juanes de la Paz	2,2	100000	4,6	5,8	4,3	4,8	6	6,1	87	4,6
Camipan	6,6	4,6	100000	1,3	1,9	6,5	2,4	7,9	5,8	7,2
Frespan	7,8	5,8	1,3	100000	1,9	6,4	7,1	8,1	6,8	8,1
Frutos	6,2	4,3	1,9	1,9	100000	1,2	3,2	2,1	3,1	4,3
Estadio Buñuelos	6,3	4,8	6,5	6,4	1,2	100000	2	2,6	4,6	5,9
La Peninsula	8,3	6	2,4	7,1	3,2	2	100000	4,2	4,4	5,8
Mil y una delicia	13	6,1	7,9	8,1	2,1	2,6	4,2	100000	3,5	4,9
La 86	2,1	87	5,8	6,8	3,1	4,6	4,4	3,5	100000	1,5
Yolipan	1,1	4,6	7,2	8,1	4,3	5,9	5,8	4,9	1,5	100000

Para programar el Solver, se consignaron las distancias en kilómetros desde cada punto hasta todos los demás puntos de entrega (tablas 7 y 4). Con el fin de obtener la ruta más corta era necesario darle la información de sus distancias desde cada una a todas, para así agregar restricciones y encontrar una lista de visitas en un orden tal que tuviera la menor distancia posible entre cada una y por ende la menor distancia total recorrida.

En la tabla 8, al igual que en la tabla 5, se encuentra la nueva ruta con el orden de visitas recomendado para recorrer una menor distancia.

*Tabla 8 restricciones segundo recorrido*

SOLUCIÓN	CEDI	Juanes de la Paz	Camipan	Frespan	Frutos	Estadio Buñuelos	La Península	Mil y una delicia	La 86	Yolipan
CEDI	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Juanes de la Paz	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Camipan	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Frespan	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Frutos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Estadio Buñuelos	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
La Península	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Mil y una delicia	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
La 86	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Yolipan	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Aplicando la misma metodología de la tabla anterior (tabla 5), se observa que la nueva ruta y orden de visitas es la siguiente: del CEDI debe dirigirse a la 86, posterior a esto debe visitar Juanes de la Paz, después debe ir a Mil y una delicias, posteriormente debe ir a Camipan, para después ir a la Península, luego a Frespan, después debe visitar Estadio Buñuelos, posterior a este debe ir a Frutos, para después ir a Yolipan, y por último regresar al CEDI nuevamente.

Esto deja como planteamiento esta nueva ruta repartida en esos dos instantes que salen del CEDI, acortando tiempos de desplazamiento y evitando pasar dos veces por el mismo lugar.

En la tabla 9 se observa el resultado obtenido, y además se hace una comparación en el orden de visitas de la ruta actual y el total de kilómetros recorridos con la nueva ruta y orden de visitas con el total de kilómetros recorridos que arrojó la programación lineal

**Tabla 9. Tabla segundo nuevo recorrido**

COMPARACIÓN DE LA RUTA ACTUAL CON LA NUEVA RUTA			
RUTA ACTUAL		NUEVA RUTA	
PANADERIAS	KILOMETROS RECORRIDOS	PANADERIAS	TOTAL DE KILOMETROS
CEDI	3	CEDI	35
Juanes de la Paz	4	La 86	
Camipan	5,2	Junes de la Paz	
Frespan	2,7	Mil y una delicia	
Frutos	9,5	Camipan	
Estadio Buñuelos	0,9	La Peninsula	
La Peninsula	5	Frespan	
Mil y una delicia	3,2	Estadio Buñuelos	
La 86	9,8	Frutos	
Yolipan	2	Yolipan	
CEDI	0,2	CEDI	
TOTAL DE KILOMETROS	45,5		

La nueva ruta y orden de visitas generó una ruta óptima y por ende disminuyó satisfactoriamente el recorrido total en kilómetros

Con base en los resultados presentados en las tablas 6 y 9 se observa que se logró un ahorro significativo en las dos entregas que se hace en todo el recorrido, mostrando las panaderías por las cuales se debe desplazar con la nueva ruta y orden de visitas logrando generar una significativa disminución en desplazamiento, y en gasto de combustible, como también incrementando las utilidades de la empresa tortas de pescado y carne Daniel, haciéndola más rentable y con

oportunidad de abarcar más sectores de ventas y nuevos clientes (panaderías) demostrando que se pudo optimizar la ruta actual y todo esto con ayuda de la programación lineal enfocada en el software Solver el cual es gratuito para Colombia y de un fácil uso, es así así cómo podemos tener valiosas herramientas de fácil acceso y gratuita y en compañía de un buen análisis logístico.

Con base en los resultados presentados en las tablas 6 y 9 se observa que en la ruta 1, fue posible disminuir la distancia total 2,5 kilómetros y en la ruta 2, se disminuyó la distancia total en 10,5 kilómetros logrando así cumplir los objetivos del trabajo.

Las nuevas rutas pueden generar cambios muy positivos para la compañía tortas de carne y pescado Daniel ya que optimizando la ruta se generará un incremento en las utilidades y una disminución en el consumo de combustible y en el tiempo requerido para completar las rutas lo que trae consigo satisfacción del cliente, y por ende clientes fidelizados, además de ser más atractivo para nuevos clientes y tener mayores posibilidades de crecer como empresa.

Las nuevas rutas y orden de visitas disminuyeron satisfactoriamente las distancias entre panaderías generando así una ruta más directa y corta lo que genera ventaja para el distribuidor dado que hará sus dos rutas diarias en menos tiempo y obteniendo mayor satisfacción de cliente.

## **9. Conclusiones y Recomendaciones**

Por medio de la toma de tiempos fue posible diagnosticar y recopilar las falencias de la ruta actual de la compañía de tortas de pescado y carne Daniel a través de la toma de tiempos de entrega.

Se empleó la metodología del agente viajero como la adecuada para dar respuesta a los requerimientos del sistema de transporte Tortas de pescado y carne Daniel.

Empleando el software Solver, fue posible diseñar un modelo de ruteo empleando programación lineal. En la ruta 1, se logró disminuir la distancia total 2,5 kilómetros y en la ruta 2, se disminuyó 10,5 kilómetros para una reducción total de 23 kilómetros.

### Recomendaciones

Se recomienda seguir este nuevo itinerario para repartir los productos ya que sus resultados se hallaron satisfactorios para la compañía, ya que se redujeron los gastos de combustible

Se recomienda usar una canasta con mayor capacidad para así no tener que volver al CEDI por más producto.

### 10 Referencias

- Ballou R (2004) *Logística: administración de la cadena de suministro*. Pearson Educación. 789 páginas ISBN 9702605407, 9789702605409
- Bermudez, Y. (2011). *Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta. Ingeniería Industrial*. Actualidad y Nuevas Tendencias,2(7), 85-104.
- Campo, B., & Mendoza, A. M. (2018). *Propuesta de un modelo de ruteo de vehículos abierto en una institución prestadora de servicios de salud*.Entramado,14(2), 288-298.
- Castellanos, A. (2009). *Manual de la gestión logística del transporte y distribución de mercancías*. Barranquilla: Ediciones Uninorte.
- Cepeda-Palacio, S. D., Velásquez-Estrada, L. J., & Marín-Gómez, B. E. (2017). *Análisis evaluativo a los procesos de marketing en la internacionalización de las pequeñas y medianas empresas de alimentos de Medellín*. Estudios Gerenciales, 33(144), 271-280.
- Coronado, A. F. (2013). *Sistema de ruteo para Alimentos José A Ltda.*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10901/7766>.
- Correa Espinal, A., Gómez Montoya, R. A., & Botero Pérez, C. (2013). *La Ingeniería de Métodos y Tiempos como herramienta en la Cadena de Suministro*. Revista Soluciones De Postgrado,4(8), 89–109. Recuperado a partir de <https://revistas.eia.edu.co/index.php/SDP/article/view/356>
- Dominguez, Javier. (2000). Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Eppen, G. D. Gould, F J (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa: construcción de modelos para la toma de decisiones con hojas de cálculo electrónicas*. Pearson Educación, 792 p

- Fuentes, A. (enero 2014). *Problema del agente viajero*. Xikua Boletín científico, Universidad autónoma del Estado de Hidalgo. Vol. 2, No 3. Recuperado <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tlahuelilpan/n3/e5.html>
- Gábor N, Saïd S (2005). *Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries*. European Journal of Operational Research. Vol. 162, Número 1, pp 126-141, ISSN 0377-2217, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2002.11.003>.
- Gelves, N, Mora R, Lamos H (2016). *Solución del problema de ruteo de vehículos con demandas estocásticas mediante la optimización por espiral*. Facultad de Ingeniería (Fac. Ing.) Vol. 25 (42), pp. 7-19. Tunja-Boyacá, Colombia. ISSN Impreso 0121-1129, ISSN Online 2357-5328, DOI: <http://dx.doi.org/10.19053/01211129.4626>
- Genoveva, A. (2003). *La realidad de la pyme colombiana. Desafío para el desarrollo*. Fundes Colombia. I.S.B.N.: 958-33-5278-0
- Hillier, F. S. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones*. México: Mc Graw Hill.
- Irnich, Stefan & Toth, Paolo & Vigo, Daniele. (2014). Chapter 1: The Family of Vehicle Routing Problems. 10.1137/1.9781611973594.ch1.
- Jacobs-Blecha, C., & Goetschalckx, M. (1992). *The vehicle routing problem with backhauls: properties and solution algorithms*. National Transportation Research Board, 13
- Mediorreal, A. (2014). *Modelo de ruteo de vehículos para la distribución de las empresas Laboratorios Veterland, Laboratorios Callbest y Cosméticos Marliou Paris*. Trabajo grado de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Repositorio: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16579/MediorrealCarrilloAndresFelipe2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Morales, J. L. (2020). *Modelo de ruteo dinámico para la operación de transporte de valores*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/10335>.
- Torres, R. (2015). *Ruteo de Vehículos desde un Centro de Distribución a una Línea de Supermercados en Barranquilla, Colombia*. INGENIARE, Universidad Libre-Barranquilla.
- Tang Montane, Fermin & Galvão, Roberto. (2006). *A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service*. Computers & Operations Research. 33. 595-619. 10.1016/j.cor.2004.07.009.

- Vidal K, Parra C, Ulabarry L (2012). *Diseño y estructuración del modelo de ruteo de transporte para la distribución de productos cárnicos en un canal de distribución tradicional (tienda a tienda)* Trabajo grado de pregrado. Universidad de San Buenaventura. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10819/1106>
- West, A. (1991). Gestion de la distribución comercial. En A. WATS, *Gestion de la distribución comercial* (pág. 331). Madrid: Diaz de Santoa S.A.
- Zablah, Mendel (2018). *Diseño de un modelo de ruteo vehicular por días para una óptima distribución de productos para Alimentos Ceta*. 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Innovation in Education and Inclusion”, 19-21 July 2018, Lima, Peru