

Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le de crédito al documento y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA
UNIVERSIDAD DE LA SABANA
Chía - Cundinamarca

**Modelo para la optimización del transporte primario y secundario en Mexichem
Colombia SAS**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de

Magíster en Gerencia de Operaciones
(Modalidad de profundización)

Wilson Urrego Escobar

Director

Carlos Leonardo Quintero Araujo, MSc.

Co-directores

Jairo R. Montoya Torres, PhD

Lorena S. Reyes Rubiano, MSc

Universidad de La Sabana

Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas

Chía, Colombia

2016

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE FIGURAS | 4 |
| LISTA DE TABLAS | 5 |
| INTRODUCCION | 9 |
| PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA EMPRESARIAL Y JUSTIFICACION..... | 10 |
| 1.1 Problema empresarial..... | 10 |
| 1.1.1 Impacto de los costos de fletes..... | 11 |
| 1.1.2 Ubicación de las plantas de producción y centros de distribución | 12 |
| 1.2 Objetivos del estudio..... | 16 |
| 1.2.1 Objetivo General..... | 16 |
| 1.2.2. Objetivos específicos | 16 |
| 1.3 Justificación | 16 |
| REVISIÓN DE LA LITERATURA | 19 |
| 2.1 Relevancia de los modelos de transporte | 19 |
| 2.2 Caracterización del transporte en Colombia..... | 20 |
| 2.3 Modelos de abastecimiento de los centros de distribución: modelos para el transporte primario | 20 |
| 2.5 Conclusiones del capítulo | 24 |
| PROPUESTA DE SOLUCION..... | 27 |
| 3.2 Política de fletes en Mexichem Colombia SAS | 30 |
| 3.3. Planteamiento del modelo transporte primario | 31 |
| 3.4 Análisis de sensibilidad del modelo transporte primario | 34 |
| 3.4.2 Sensibilización con variaciones en la capacidad de producción | 36 |
| 3.5 Datos para el modelo de transporte secundario | 38 |
| 3.5.1 Clientes y Rutas..... | 39 |
| 3.5.2 Origen, destino, paradas en rutas y fletes..... | 40 |
| 3.5.3 Distancia, tiempos de tránsito y ventanas horarias..... | 41 |
| 3.5.4 Distribución unidades a transportar | 41 |
| 3.6 Planteamiento del modelo transporte secundario..... | 42 |
| 3.7 Análisis de sensibilidad del modelo transporte secundario..... | 49 |

| | |
|--|----|
| VALIDACIÓN NUMÉRICA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS | 51 |
| 4.1. Resultados para el transporte primario | 51 |
| 4.1.1 Ambiente computacional transporte primario..... | 51 |
| 4.2 Resultados obtenidos transporte primario | 51 |
| 4.3 Indicadores de gestión transporte primario | 52 |
| 4.4 Resultados análisis de sensibilización del modelo para transporte primario | 53 |
| 4.4.1 Resultados aumento leve en la demanda..... | 53 |
| 4.4.2 Resultados aumento medio en la demanda | 54 |
| 4.4.3 Resultados aumento significativo en la demanda producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M..... | 56 |
| 4.4.4 Resultados variación media de capacidad de producción | 58 |
| 4.4.5 Resultados reducción total de la capacidad de producción planta Barranquilla..... | 60 |
| 4.4.6 Resultados reducción significativa de la capacidad de producción de las tres plantas | 61 |
| 4.5. Segunda sección transporte secundario | 63 |
| 4.5.1 Ambiente computacional transporte secundario | 63 |
| 4.6 Resultados obtenidos transporte secundario | 63 |
| 4.7 Indicadores modelo transporte secundario | 64 |
| 4.8 Resultados análisis de sensibilización del modelo para transporte secundario | 64 |
| 4.8.1 Resultados alta demanda del producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M..... | 64 |
| 4.8.2 Resultados reducción total de la capacidad de producción planta Barranquilla..... | 65 |
| 4.9 Validación de resultados obtenidos con la realidad de la empresa | 65 |
| 4.9.1 Validación transporte primario | 65 |
| 4.9.2 Validación transporte secundario..... | 70 |
| CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS | 72 |
| 5.1 Conclusiones | 72 |
| 5.2 Modelo transporte primario | 72 |
| 5.2.1 Sensibilización modelo transporte primario..... | 73 |
| 5.2.2 Conclusiones escenario de aumento en las demandas | 73 |
| 5.2.3 Conclusiones escenario de disminución en la capacidad de producción..... | 73 |
| 5.3 Modelo transporte secundario | 74 |
| 5.3 Conclusiones generales | 75 |
| REFERENCIAS BIBIOLGRAFICAS | 77 |

| | |
|----------------------|----|
| Anexo 1 | 79 |
| Anexo 2 | 81 |
| Anexo 3 | 83 |
| Anexo 4 | 86 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Proceso de abastecimiento de los centros de distribución..... | 13 |
| Figura 2 Modelo de distribución Mexichem Colombia SAS canal de distribución..... | 14 |
| Figura 3 Flujo canales de distribución en Mexichem Colombia..... | 17 |
| Figura 4 Participación por canal de distribución..... | 18 |
| Figura 5 Secuencia secciones propuesta de solución..... | 27 |
| Figura 6 Flujo de rutas origen, intermedias y destino transporte secundario..... | 41 |
| Figura 7 Plantilla Excel programación transportes secundarios..... | 71 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Comparativo costo fletes primario y secundario por año..... | 11 |
| Tabla 2 Variación costo fletes primario y secundario por año..... | 11 |
| Tabla 3 Clasificación de la bibliografía..... | 25 |
| Tabla 4 Productos fabricados por planta y capacidad de producción mensual..... | 28 |
| Tabla 5 Demanda por centros de distribución y por producto..... | 28 |
| Tabla 6 Tipología de vehículos en Colombia..... | 29 |
| Tabla 7 Oferta por tipo de vehículos en Colombia..... | 29 |
| Tabla 8 Unidades de producto por vehículo..... | 30 |
| Tabla 9 Costo de transporte de plantas a Centros de distribución..... | 30 |
| Tabla 10 Costo de flete por unidad abastecida..... | 31 |
| Tabla 11 Aumento leve en la demanda por centro de distribución..... | 35 |
| Tabla 12 Aumento medio en la demanda por centro de distribución..... | 36 |
| Tabla 13 Alta demanda del producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M..... | 36 |
| Tabla 14 Reducción media de capacidad de producción por planta..... | 37 |
| Tabla 15 Reducción total de la capacidad de producción planta Barranquilla..... | 37 |
| Tabla 16 Reducción significativa de la capacidad de producción de las tres plantas..... | 38 |
| Tabla 17 Aspectos relevantes sistema de distribución Mexichem Colombia..... | 39 |
| Tabla 18 Clasificación clientes Mexichem Colombia..... | 40 |
| Tabla 19 Unidades a transportar por vehículo..... | 41 |
| Tabla 20 Cantidad de producto a trasladar de cada planta a centro de distribución..... | 52 |

| | |
|--|----|
| Tabla 21 Cantidad de producto a despachar de cada centro de distribución a los clientes..... | 52 |
| Tabla 22 Cantidad producto por planta a centros de distribución con leve aumento de demanda..... | 53 |
| Tabla 23 Producto a enviar de centros de distribución a clientes con aumento medio de demanda..... | 54 |
| Tabla 24 Cantidad de producto por planta a centros de distribución con aumento medio de la demanda..... | 55 |
| Tabla 25 Producto a enviar de centros de distribución a clientes con aumento medio de demanda..... | 56 |
| Tabla 26 Cantidad a enviar de la planta Bogotá a centros de distribución del producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M con aumento significativo en su demanda..... | 57 |
| Tabla 27 Producto a enviar de centros de distribución a clientes con aumento significativo en la demanda del producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M..... | 58 |
| Tabla 28 Comparativo de valores óptimos según demanda | 58 |
| Tabla 29 Cantidad de producto a trasladar de cada planta a centro de distribución con media de capacidad de producción..... | 59 |
| Tabla 30 Cantidad de producto a despachar de cada centro de distribución a los clientes con disminución media de capacidad de producción..... | 60 |
| Tabla 31 Reducción significativa de la capacidad de producción de las tres plantas..... | 61 |
| Tabla 32 Cantidad de producto a despachar de cada centro de distribución a los clientes con disminución significativa de la capacidad de producción de las tres plantas..... | 62 |
| Tabla 33 Comparativos valores óptimos con variación de producción..... | 62 |
| Tabla 34 Resultados arrojados por el sistema transporte secundario..... | 64 |
| Tabla 35 Cantidades enviadas actualmente de plantas a centros de distribución frente a las propuestas por el modelo..... | 66 |

| | |
|--|----|
| Tabla 36 Cantidades enviadas actualmente de plantas a centros de distribución frente a las propuestas por el modelo planta Guachene..... | 66 |
| Tabla 37 Costo de realizar las entregas a clientes desde los centros de distribución con el modelo actual planta Guachene..... | 67 |
| Tabla 38 Costo de realizar las entregas a clientes desde el centro de distribución de Cali..... | 68 |
| Tabla 39 Cantidades enviadas actualmente de plantas a centros de distribución frente a las propuestas por el modelo en la planta Bogotá..... | 68 |
| Tabla 40 Costo de realizar las entregas a clientes desde los centros de distribución con el modelo actual planta Bogotá..... | 69 |
| Tabla 41 Costo de realizar las entregas a clientes desde el centro de distribución de Cali..... | 70 |

GLOSARIO

| Término | Significado |
|--------------------------|--|
| Canales de distribución | Circuito a través del cual un fabricante pone a disposición sus productos para que los consumidores finales lo puedan adquirir |
| Centro de distribución | Infraestructura logística en la cual se almacenan productos y se realizan actividades de distribución a los clientes |
| Flete | En Colombia, es el costo que se paga para transportar por cualquier medio un producto desde un origen hasta el destino final |
| Inventario Make to order | Productos que se fabrican sólo bajo pedidos |
| Inventario Make to stock | Inventario de productos que se manufacturan de manera continua para ser almacenados |
| Red de distribución | Es el conjunto de almacenes y centros de producción que se conectan entre sí a través de un medio de transporte |
| Transporte Multimodal | Tipo de transporte cuando se utilizan al menos dos medios de transporte para la movilización de un mismo producto |
| Transporte Primario | Es el transporte que se realiza desde las plantas a los centros de distribución |
| Transporte secundario | Es el transporte que se realiza desde los centros de distribución hasta los clientes |
| Ventaja competitiva | Es una o varias características que posee una compañía frente otras que son competidoras y que le permite atraer más clientes |
| Zona franca | Zona delimitada dentro de un territorio que goza de algunos beneficios tributarios |

INTRODUCCION

El transporte de carga para las empresas industriales es uno de los aspectos más importantes ya que tienen un gran impacto financiero y puede llegar a ser un diferenciador de servicio, la suma de estos dos componente sitúa al transporte como ventaja competitiva en un mercado cada vez está más competido tanto local como globalmente.

Cada compañía de acuerdo con su naturaleza y el mercado donde participa diseña sus modelos comerciales y de estos se derivan los canales de distribución que respaldan dichos modelos siempre enfocados en tener una relación costo servicio lo más balanceado posible.

En el presente trabajo se muestra el diseño de un modelo de transporte en dos fases para la empresa Mexichem Colombia SAS, empresa del sector petroquímico cuyos productos principalmente son tuberías en PVC dedicadas a las conducción de fluidos en diferentes sectores de la economía como la infraestructura, petrolero y el industrial; cuenta con tres plantas de producción y cuatro centros de distribución y es en estos donde se centra el diseño del modelo para los transportes primarios y secundarios. Para dicho modelo se parte de una situación actual en el área de transportes de la compañía donde se describe cada una de las etapas de ambos tipos de transportes y el cómo se gestiona, una vez diseñado el modelo de transporte en sus dos fases son analizados en escenarios que se pueden dar en la vida real (ejemplo: aumentos en la demandas, reducciones en las capacidades de producción) con el fin de analizar los comportamientos y desempeño de los modelos frente a estos escenarios. Por último se hace un comparativo de la situación actual de los transportes de la compañía con los resultados arrojados por los modelos para cuantificar los beneficios potenciales de una futura implementación.

CAPITULO 1

PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA EMPRESARIAL Y JUSTIFICACION

Mexichem Colombia SAS es la compañía líder en el mercado Colombiano en la fabricación y comercialización de tubosistemas para el transporte de fluidos, cuenta con dos marcas comerciales en el mercado Pavco y Celta, hace parte de la Multinacional Mexicana Mexichem la cual cuenta con presencia en más de treinta países a nivel mundial.

En este capítulo se describe la situación actual de la empresa Mexichem SAS en lo concerniente a la estructura de transporte de productos desde las plantas de producción a los centros de distribución (transporte primario) y desde estos a los clientes (transporte secundario), igualmente, se presentarán tanto la justificación de este trabajo como los objetivos de investigación.

1.1 Problema empresarial

El transporte es una de las áreas más importantes dentro de la cadena de abastecimiento en cualquier organización y donde más oportunidades de optimización de costos existen, en Mexichem Colombia SAS los costos de transporte llegan a representar hasta el 6,5% sobre las ventas, convirtiéndose en el segundo rubro más alto en costos asociados al producto superado sólo por la compra de materia prima, por lo tanto, el transporte se convierte en una fuente inmensa de optimización de recursos financieros. En las Tablas 1 y 2 se muestra la evolución de los fletes desde el año 2009 al 2015.

El valor de los fletes se analiza en porcentaje ya que así se puede ver de una manera más directa el impacto que este tiene sobre las ventas, los valores nominales o absoluto puede no mostrar de una manera clara la importancia que este tiene en los costos.

Tabla 1. Comparativo costo fletes primario y secundario por año.

| ITEM | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Toneladas despachadas promedio mes | 4,765 | 4,844 | 5,493 | 5,317 | 5,853 | 6,321 | 6,574 |
| COP/kg. Total | 290 | 293 | 338 | 338 | 369 | 372 | 376 |
| COP/kg. Transporte primario | 193 | 192 | 236 | 248 | 240 | 260 | 271 |
| COP/kg. Transporte secundario | 228 | 233 | 275 | 271 | 301 | 316 | 319 |
| USD/kg. Total | 0.14 | 0.16 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.12 | 0.13 |
| USD/kg. Transporte secundario | 0.11 | 0.12 | 0.15 | 0.15 | 0.16 | 0.11 | 0.10 |
| % Flete total/venta | 5.09% | 5.11% | 5.80% | 5.83% | 6.46% | 6.38% | 6.44% |
| % Flete secundario/venta | 4.00% | 4.08% | 4.71% | 4.67% | 5.26% | 5.50% | 5.67% |
| % Total gasto/venta | 6.73% | 7.59% | 8.24% | 8.45% | 9.05% | 9.72% | 9.87% |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 2. Variación costo fletes primario y secundario por año.

| ITEM | 2009 | 2010 | Δ | 2011 | Δ | 2012 | Δ | 2013 | Δ | 2014 | Δ | 2015 | Δ |
|--------------------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|---------|-------|--------|
| ton despachadas (mes) | 4,765 | 4,844 | 1.70% | 5,493 | 13.40% | 5,317 | -3.20% | 5,853 | 10.10% | 6,321 | 8.00% | 6,574 | 4.00% |
| COP/kg total | 290 | 293 | 1.00% | 338 | 15.50% | 338 | 0.00% | 369 | 9.20% | 372 | 0.81% | 376 | 1.08% |
| COP/kg primario | 193 | 192 | -0.50% | 236 | 22.70% | 248 | 5.50% | 240 | -3.60% | 260 | 8.33% | 271 | 4.23% |
| COP/kg secundario | 228 | 233 | 2.20% | 275 | 17.90% | 271 | -1.30% | 301 | 11.00% | 316 | 4.98% | 319 | 0.95% |
| USD/kg total | 0.14 | 0.16 | 14.30% | 0.18 | 14.70% | 0.19 | 2.60% | 0.2 | 3.80% | 0.12 | -40.00% | 0.13 | 8.33% |
| USD/kg secundario | 0.11 | 0.12 | 9.10% | 0.15 | 24.10% | 0.15 | 1.20% | 0.16 | 5.40% | 0.11 | -31.25% | 0.1 | -9.09% |
| % flete total/venta | 5.10% | 5.10% | 0.40% | 5.80% | 13.60% | 5.80% | 0.60% | 6.50% | 10.70% | 6.38% | -1.85% | 6.44% | 0.94% |
| % flete secundario/venta | 4.00% | 4.10% | 2.00% | 4.70% | 15.40% | 4.70% | -0.80% | 5.30% | 12.50% | 5.50% | 3.77% | 5.67% | 3.09% |
| % total gasto/venta | 6.70% | 7.60% | 12.80% | 8.20% | 8.50% | 8.50% | 2.60% | 9.10% | 7.10% | 9.72% | 6.81% | 9.87% | 1.54% |

Fuente: Elaboración propia del autor

1.1.1 Impacto de los costos de fletes

Para contar con una adecuada red de distribución que permita atender los requerimientos de los clientes los cuales pueden estar sujetos a variabilidad de la demanda, se exige una óptima gestión de transporte primario y secundario, el primero impacta de manera directa el precio final que el consumidor debe pagar por el producto y el segundo va directamente a los resultados financieros, ambos costos son una fuente de oportunidades de mejora que brindan ventajas comparativas y competitivas, es decir que se debe contar con una red de distribución que permita que los clientes cuenten con el producto cuando lo requieran y donde lo requieran a unos costos de fletes adecuados para la compañía beneficiando los resultados financieros.

Por lo anterior, la optimización del área de transportes en Mexichem Colombia es necesaria ya que genera valor agregado a la cadena de abastecimiento y para tal fin se debe adoptar un modelo de transporte primario y secundario adecuado que proporcione ventajas competitivas.

1.1.2 Ubicación de las plantas de producción y centros de distribución

Para su proceso productivo, Mexichem Colombia cuenta con proveedores de materias primas e insumos tanto nacionales como internacionales; para los primeros gran parte de los transportes son cubiertos por el proveedor, la mayor parte de la materia prima llega por el puerto de Cartagena y Barranquilla, en estos casos el transporte desde puerto hasta las plantas de producción son cubiertos por Mexichem Colombia SAS y es un costo que va directamente cargado al proceso productivo, por lo tanto en este trabajo este tipo de transportes no son objeto de estudio.

Para el transporte primario solo se tendrá en cuenta aquellos que se generan desde las plantas a los centros de distribución.

Para soportar la red de distribución, Mexichem Colombia SAS cuenta con tres plantas de producción ubicadas en las ciudades de Bogotá, Barranquilla y Guachene, departamento del Cauca, y cuenta con cuatro centros de distribución en las principales ciudades de Colombia: Medellín, Cali, Barranquilla y Bogotá, esto con el fin de garantizar disponibilidad de producto a los clientes. Dicha disponibilidad es uno de los factores determinantes en el servicio ya que por el uso que estos tienen la demanda requiere ser cubierta en el menor tiempo posible como es el caso donde se presentan emergencias con los acueductos, alcantarillados, escapes de fluidos, derrumbes, problemas invernales y todo aquello que requiera una intervención inmediata por el riesgo que representa a nivel de infraestructura.

Cada una de las tres plantas de Mexichem Colombia SAS produce algo diferente a las demás y se manejan dos tipos de inventarios, *make to stock* y *Make to order*, por lo tanto desde cada planta se envían productos a los centros de distribución para abastecerlos teniendo en cuenta que los centros de distribución de Barranquilla y Bogotá están en las mismas instalaciones físicas de las plantas de producción de estas ciudades, es decir que el abastecimiento de estos almacenes no representa

un costo de transporte primario ya que sólo es pasar de la planta a la bodega del centro de distribución, pero si reciben productos en transferencia de las plantas de Guachene, los demás centros de distribución: Medellín y Cali son abastecidos por las tres plantas. En la Figura 1. Se ilustra el flujo del abastecimiento de los centros de distribución.

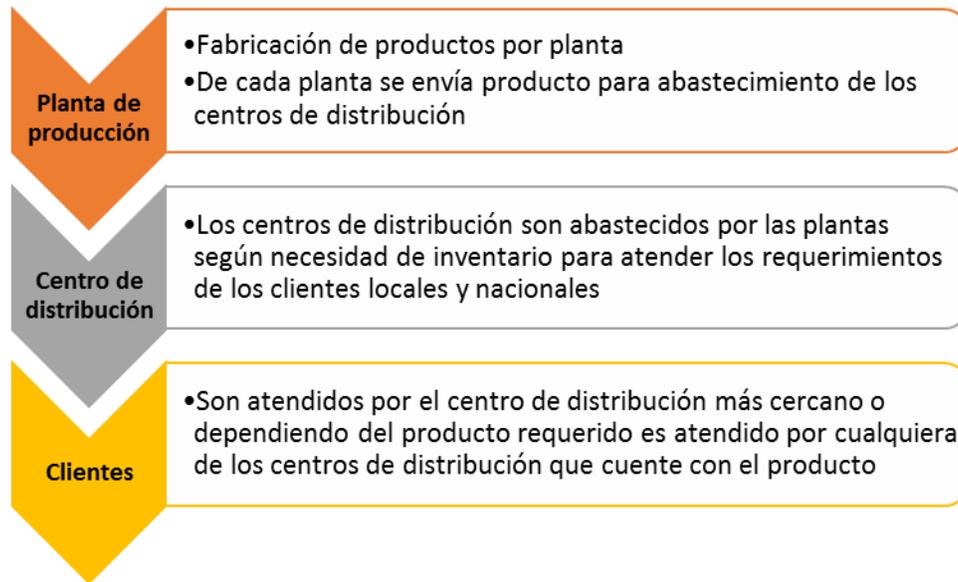


Figura 1. Proceso de abastecimiento de los centros de distribución.

En cada uno de los centros de distribución se tiene establecido como política de inventarios un punto de re-orden correspondiente a veinte días de venta promedio para productos *make to stock*, este cálculo lo realiza el sistema ERP SAP de manera automática a través de promedio móviles de las ventas en los últimos seis meses, cuando el *stock* de un producto llega al punto de re-orden de inmediato genera una solicitud de traslado para reabastecer de nuevo los inventarios de los centros de distribución; estos reabastecimientos son realizados con flotas homogéneas con restricción de capacidad de carga.

Desde los Centros de distribución se atienden demandas locales y naciones, por ejemplo, desde el centro de distribución de Barranquilla se atienden pedidos de esta misma ciudad, o de Bogotá, Medellín, Cali o cualquier otra ciudad del país, la misma situación se presenta en los demás centros de distribución.

La programación de despachos locales o nacionales se realiza de forma manual en hojas de Excel, donde se consigna información como: Vehículo a despachar, ciudad destino de los despachos, cantidad de clientes que se deben entregar, secuencia de visita de los clientes, ventana horaria de los clientes, peso a transportar y el valor del flete que se va a pagar, así mismo el orden en que se debe cargar el vehículo tratando de elaborar la ruta de una manera lógica, es decir que las entregas inicien en el punto más cercano y finalice en el punto más lejano visitando cada punto solo una vez, por lo tanto en cada programación de despachos se tiene un problema de ruteo que se aborda de forma manual siendo esto una oportunidad de mejora ya que podría gestionarse de manera automatizada. En la Figura 2 ilustra el sistema de distribución de Mexichem Colombia SAS tanto de plantas de producción a centros de distribución como de estos a clientes.

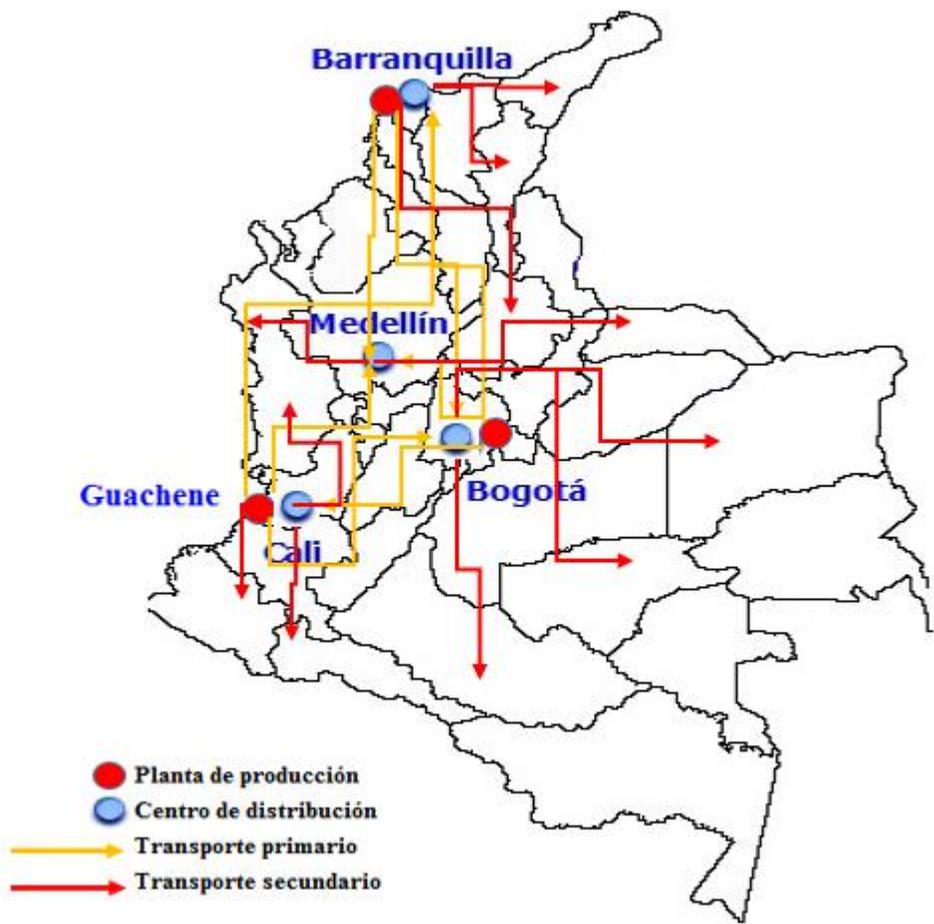


Figura 2. Modelo de distribución Mexichem Colombia SAS

Para ambos tipos de transporte se tiene establecida una tabla de fletes con el valor que se debe pagar, es decir que existe una tabla de fletes por ruta, por origen, por destino y por tipo de vehículo, pues dependiendo de la longitud del producto, su volumen o su peso se debe utilizar el vehículo adecuado para cada necesidad; este aspecto es muy importante y determinante en el costo de los transportes primarios y secundarios ya que dependiendo de la cantidad de producto despachado, el peso de los mismos y el tipo de vehículo utilizado dependerá el costo por kilo transportado ya que por las características del producto se puede tener un volumen alto de despachos pero con poco peso lo que puede generar un alto costo por kilo transportado, esto significa que hay una relación peso volumen a considerar en la planeación de los despachos y es esto una de las más grandes complejidades que presenta hoy en día el sistema de transportes en Mexichem Colombia SAS.

Por lo anterior, la optimización del transporte es fundamental en Mexichem Colombia SAS ya que permite generar valor agregado a su cadena de abastecimiento y obtener ventajas comparativas y competitivas impactando los indicadores financieros de manera positiva y aumentando el nivel de servicio a los clientes; para tal fin es necesario adoptar un modelo que mejore la gestión de transportes primario y secundario en la compañía.

Por lo antes expuesto, en este trabajo se quiere dar respuesta a las siguientes preguntas:

¿Cuál será el modelo de transporte primario y secundario más adecuado en Mexichem Colombia SAS?

¿Cuáles serían las variables más importantes que se deben considerar en el modelo de transporte?

¿Cuáles serán los indicadores que se deben definir e implementar para evaluar la eficiencia del modelo?

¿Cuáles serán las Estrategias de implementación del modelo?

¿Cuál será la combinación correcta de flota de vehículos para que el modelo funcione?

1.2 Objetivos del estudio

Los siguientes objetivos son los que se deben alcanzar para dar respuesta a los interrogantes formulados:

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un modelo de optimización del transporte primario y secundario en Mexichem Colombia SAS que le permita a esta compañía ser más competitiva.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar las variables más importantes que se deben considerar para el modelo de transportes de la empresa.
- Determinar los indicadores de la gestión de transporte para que el modelo funcione.
- Definir y simular el modelo prototipo resultado del estudio.

1.3 Justificación

En un mundo globalizado donde cada día ingresan nuevos competidores, nuevas tecnologías, nuevas propuestas, nuevos productos con ciclos de vida mucho más cortos, hace que las organizaciones formulen nuevas estrategias que les permitan desarrollar ventajas competitivas y volver más eficiente el manejo de sus recursos escasos (Bravo, Orjuela & Osorio 2007), y de esta forma mantenerse vigentes en el mercado.

Uno de los focos principales para obtener dichas ventajas es optimizar constantemente sus cadenas de suministros (Peidro & otros, 2013) entendiendo éstas como el proceso que va desde el proveedor de proveedor hasta el cliente del cliente. En esta cadena uno de los factores claves para obtener ventajas competitivas es el transporte ya que se encuentra presente tanto al inicio de la cadena suministrando los abastecimientos de materias primas e insumos, como al final de la misma proporcionando transporte de productos semi-terminados o terminados entre las plantas de

manufactura y los centros de distribución y de estos hacia los clientes finales; de ahí parte que esta actividad sea fundamental y estratégica para cualquier organización productora o comercializadora pues es una fuente no sólo de optimización de recursos financiero sino también diferenciadora de servicio.

Cada vez más los clientes son más inteligentes en sus opciones de compra por que tienen más información de los productos gracias a la masificación de los medios de comunicación y un interés cada vez más creciente del cuidado personal y del medio ambiente, por lo tanto son más infieles a las marcas y por consiguiente la disponibilidad del producto es esencial para una opción de compra y el transporte juega el papel protagónico para garantizar dicha disponibilidad.

Mexichem Colombia SAS con sus marcas comerciales Pavco y Celta es reconocida en Colombia como la compañía líder en la producción y comercialización de productos para conducción de fluidos controlando cerca del 50% del mercado seguido por Gerfort su competidor más fuerte quien tiene cerca del 28% de participación de mercado (Revista Dinero, 2014). Los canales de distribución de Mexichem Colombia se ilustran en la Figura 3. La participación que tiene cada canal de distribución se muestra en la Figura 4.



Figura 3. Flujo canales de distribución en Mexichem Colombia.

Participación por canal de distribución

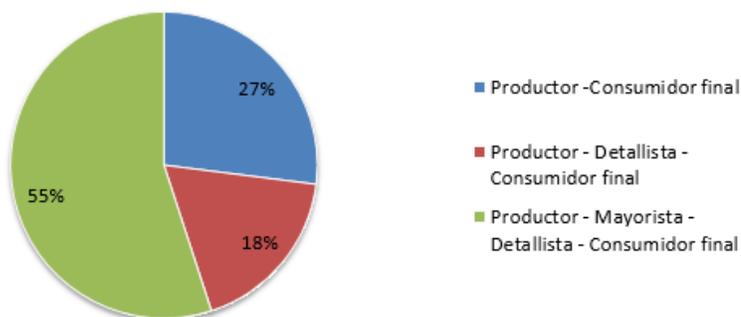


Figura 4. Participación por canal de distribución.

Estos canales de distribución permiten a Mexichem Colombia tener un cubrimiento a nivel nacional y llegar a cualquier lugar del territorio nacional que requiera el consumidor final ya que por las características y usos del producto es vital para el desarrollo en materia de infraestructura de las regiones Colombianas, las tuberías de PVC no solo son utilizadas en infraestructuras de construcción sino también en la infraestructura agrícola, actualmente en Colombia se adelantan grandes obras de infraestructura como los son los puertos de Tribuga en el pacifico Chocoano, y Tarena en el golfo de Urabá, la autopista de las américas, la ruta del sol, la arteria del llano, adecuación y modernización de ocho aeropuertos incluyendo el Dorado de la ciudad de Bogotá, la inversión entre el 2012 y el 2020 en infraestructura en Colombia según Anif es de un 3,2% del PIB anual promedio en la última década y para ponerse al día en materia de infraestructura deberá por lo menos invertir un 6% del PIB en los próximos 10 años. Por otra parte el actual gobierno proyecta la construcción de 100 mil viviendas distribuidas en todo el territorio Colombiano que conllevan una gran demanda de productos de PVC, por lo tanto es necesario contar con una red de distribución lo suficientemente amplia para garantizar la satisfacción de los clientes.

En el capítulo siguiente se realizará una revisión de la literatura encontrada en la cual han trabajado modelos de transporte para solucionar problemas similares a los mencionados en este capítulo.

CAPITULO 2

REVISIÓN DE LA LITERATURA

En este capítulo se muestra alguna literatura que se ha trabajado para crear modelos de transporte los cuales servirán como base teórica para la creación de un modelo que ayude a dar solución al problema expuesto en el capítulo anterior.

2.1 Relevancia de los modelos de transporte

En la actualidad, la logística es considerada una de las áreas que mayor potencial tiene para que las empresas obtengan mayor competitividad en un mercado donde cada vez se tienen más competidores (Berges & otros, 2013) que trae inmerso un mundo de desafíos y de nuevas tendencias, dentro de estas últimas se encuentran la cada vez más agresiva exigencias de los clientes quienes demandan de las compañías tiempos de entrega reducidos, flexibilidad y confiabilidad; ya no sólo basta con que las empresas tengan los inventarios necesarios para atender las demandas de sus clientes sino que también se deben complementar con entregas en el tiempo y lugar requeridos por los clientes pues hoy en día las coberturas son mucho más amplias en espacios geográficos agrestes que traen consigo un reto aún mayor de llegar con excelencia en el servicio y con bajo costo, por lo tanto es éste el origen de una gran variedad de estrategias en los diseños de sistemas y modelos de distribución que contemplen un *trade off* entre el servicio y los costos de transporte.

En el transporte y la distribución son varios los modelos y técnicas que se utilizan para su optimización y sirven como soporte teórico a los planteamientos de la presente investigación, pues como se ha descrito en el capítulo anterior la mejora en la gestión del transporte dentro de la cadena de suministros se hace estratégico e indispensable para lograr eficiencia en términos financieros y en nivel de servicio ofrecido a los clientes (Thomas & Griffin 1996) internos y externos pues se contempla el transporte primario y secundario. Estas dos clases de transporte están presentes dentro de la operación logística de Mexichem Colombia SAS ya que así lo exige la configuración de sus canales de distribución con los que actualmente cuenta la compañía, dada esta estructura se realizan traslados de productos terminados desde las plantas de producción a los

centros de distribución y de éstos se atienden los pedidos de los clientes en todo el territorio Colombiano.

2.2 Caracterización del transporte en Colombia

Colombia es un país que tiene particularidades en cuanto al sistema de transporte de carga se trata, cuenta con una topografía especial y una infraestructura que se encuentra en desarrollo, incluso existen muchos lugares del territorio Colombiano a los cuales sólo se puede acceder por vía aérea o fluvial. Además, el sistema ferroviario es casi nulo y sólo se encuentra en un sector de la economía. Los altos precios de los combustibles es otro factor que incide de forma directa en los costos de los fletes, todas estas características hacen que los costos de transporte en Colombia sean muy elevados y por ende representan una problemática para las empresas pues les hace perder competitividad en sus cadenas de abastecimiento, no solo en términos de estructuras de costos sino también en términos de servicio, pocas empresas pueden contar con transportes multimodales en sus sistemas de distribución por que las fuentes de transportes diversos son pocas, los sistemas fluviales están poco desarrollados por la escasa navegabilidad de los ríos para transporte de mercancías. Estas condiciones llevan a que la gran mayoría de empresas en Colombia tengan un sistema de transporte que contemplan transportes primarios y secundarios dentro de sus cadenas de abastecimiento porque son casi que la única forma de poder contar con un sistema de distribución de gran cobertura en una geografía que por sus características topográficas, políticas, económicas o sociales no son fáciles de cubrir pero que son necesarias para el crecimiento de las compañías y del país.

2.3 Modelos de abastecimiento de los centros de distribución: modelos para el transporte primario

De acuerdo con el problema empresarial, en cada centro de distribución se tienen establecido un nivel de inventario para atender las demandas de los clientes, es decir que se tiene un sistema de reabastecimiento del inventario por producto y por planta; para el envío de los productos de las plantas de producción a centros de distribución se utilizan flotas homogéneas con restricción de capacidad de carga, es decir que se utiliza el mismo tipo de vehículo.

El transporte primario en Mexichem Colombia SAS puede ser representado mediante el problema de transporte, el cual puede ser fácilmente planteado mediante programación lineal y se funda en la necesidad de movilizar productos de un lugar origen a un lugar destino, su objetivo principal es optimizar los flujos de productos reduciendo costos, asegurando la disponibilidad de productos dando un gran valor a los centros de distribución pues esto permite oportunidad en la entrega en momento de variabilidad de la demanda.

Existe un modelo de transporte denominado problema de transbordo, la funcionalidad básica de este modelo consiste en tener un almacén fuente u origen y un punto intermedio que recibe y almacena, Zhang, Janic, & Tavasszy (2015) trabajan la optimización de fletes a través del problema del transbordo, desde un almacén central abastecen puntos intermedios o puntos de transbordo que son utilizados para satisfacer las demandas a un costo mínimo, sin embargo en este trabajo no se aborda la solución desde un problema de transbordo sino a partir de un modelo de transportes dividido en dos fases, la primera un modelo para el envío de producto terminado de las plantas a los centros de distribución y la segunda un modelo para el envío de producto desde los centros de distribución a los clientes, en cada fase se respetan las restricciones para cada tipo de transporte.

2.4 Modelos de distribución para entregas a cliente final: modelos para el transporte secundario

Para el caso empresarial bajo estudio, y tal como se describe en el capítulo 1 los despachos se programan de forma manual en hojas de Excel, Bernal, Martínez & Sánchez (2005) tratan modelos de rutas más cortas, utilizando herramientas informáticas contempladas en Excel como el Solver, García & Martínez (2005) destaca la importancia de la eficacia en la planificación y propone el desarrollo de modelos utilizando hojas de cálculo y Solver.

Al momento de planear los despachos se debe tener en cuenta la ruta a cubrir, esta puede ser desde un punto de origen a un punto final o puede ir desde un punto de origen y tener varios puntos intermedios que debe visitar antes de llegar al punto final, para esto debe tenerse en cuenta la capacidad de carga de los vehículos, Medina & Restrepo (2008) trabajan modelos de un problema

de programación de vehículos con restricciones de capacidad CVRP (*Capacited vehicle routing problem*) donde se contemplan la capacidad de carga de los vehículos, Acevedo, Cachay & Raffo (2012) plantean soluciones a través de metaheurísticas de búsquedas tabú la cual es una variante de la búsqueda local que pueden aplicarse cuando se tiene restricción de capacidad de carga y problemas de enrutamiento de vehículos o VRP (*vehicle routing problem*); este trabajo se desarrolló para el transporte de combustible donde se obtuvo un modelo optimizado. González & González (2006) también trabaja Las técnicas de metaheurística como búsquedas tabú, algoritmos genéticos, colonias de hormigas e híbridos para VRP en el cual se contemplan problemas con la capacidad de carga de los vehículos, en este trabajo se analiza donde se debe ubicar la bodega de forma tal que se dé una optimización en las rutas de transporte de acuerdo a la ubicación de sus clientes. Martínez (2008) trabaja el VRP mediante algoritmos genéticos, este modelo se aplicó en una compañía que tiene un centro de distribución y debe surtir de productos a ocho centros de consumo donde el objetivo fundamental es la reducción de costos teniendo en cuenta las restricciones de capacidad de carga de los vehículos, para obtener el modelo tuvieron en cuenta el algoritmo de ahorros de Clarke & Wright (1963) en el cual se determinan las distancias entre los diferentes centros de consumo y distribución construyendo las rutas más óptima, sin embargo estos algoritmos son eficientes para distribución a menos de 50 puntos de visita o que se tenga una flota inferior a 14 vehículos. Daza, Montoya-Torres & Narducci (2009) Abordan un problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad y flota homogénea CVRP-HF, (*capacitated vehicle routing problem with homogenous fleet*) utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases, se trabaja tanto el problema de agente viajero TSP (*Travel Salesman Problem*) como el problema de empaquetamiento en compartimentos (BPP, *bin packing problem*) para tener en cuenta los pesos y volúmenes a cargar en los vehículos.

Determinada las características y capacidades de los vehículos se define la ruta del transporte a realizar con todas sus características y restricciones tal como se describe en el capítulo 1, Guillén, Barbeito & Martínez (2008), trabaja un modelo con ventanas de tiempo y limitación de capacidad de cargue VRPTW con algoritmos heurísticos, utilizando los problemas de Solomon; este plantea 56 diferentes problemas divididos en seis grupos donde encadena en cada uno de ellos diferentes variables tales como datos geográficos, ventanas de tiempo, número de clientes, flexibilidad de planeación por diferentes grupos, los cuales son más eficientes en los casos donde el horizonte

de tiempo es más amplio y los vehículos han de realizar un mayor número de visitas, Polacek, Hartl & Doerner (2004) trabajan el modelo VRPMDTW (*Vehicle Routing Problem with Multi depot and Time Windows*) con un algoritmo de búsqueda tabú, con un enfoque competitivo tanto en la calidad de la solución como en los tiempos de cálculo.

Otro aspecto que se evalúa en el diseño de las rutas son las recogidas de producto en los clientes, estas devoluciones deben ser llevadas de retorno al centro de distribución que origina el despacho o al más próximo en ubicación geográfica, es decir que la ruta tendrá descarga y carga simultánea, Pacheco & Delgado (2000), trabajan el cargue y descargue simultáneo con una heurísticas y metaheurísticas que tiene dos fases: En la primera se obtiene un conjunto de óptimos locales y se forma un conjunto con ellos, en la segunda se utiliza un algoritmo que focaliza la búsqueda en el conjunto de los mejores óptimos locales encontrados en la primera fase. Estos algoritmos han sido propuestos por Rosing & Reville (1997), y Fernandez (1998) aplicándolo al problema de rutas de vehículos con flota heterogénea y carga y descarga simultánea. Colmenares (2002) trabaja el problema de rutas con ventanas de tiempo y con carga y descarga simultanea VRPTW con algoritmos de aproximación el cual es usado para encontrar soluciones aproximadas a problemas de optimización.

En cualquier modelo de transporte se deben tener en cuenta las variables que lo rodean como lo son la capacidad de los vehículos, ventanas horarias, cargas y descargas simultáneas con el fin de obtener rutas óptimas y con estas la reducción de costos, al respecto Cruz, Restrepo & Medina (2007) trabaja el problemas logísticos de ruteo de vehículos asimilándolo a un problema de agente viajero TSP donde se busca la ruta óptima para minimizar costos de transporte, también trabaja un problema de ruteo con un modelo de VRP donde se tiene restricción en capacidad en carga y recorrido infinita. Pinzón, Soto & Soto (2008), trabajan el modelo el problema del agente viajero TSP, problema de enrutamiento de vehículos VRP, dentro de este último se contempla no solo descargues sino también cargues simultáneos donde se tienen en cuenta las restricciones de capacidad de los vehículos y la demandas por cliente, este modelo propone un algoritmo hibrido con el objetivo de minimizar el costo de distribución, teniendo en cuenta la ubicación de los centros y los clientes, cargues y descargues simultáneos, demanda de los clientes internos y externos, capacidad de carga de los vehículos y la promesa de entrega que se tenga establecida por tipo de

cliente. El algoritmo híbrido lo componen un algoritmo genético cuya función es la de clasificar, y para optimizar cada ruta se utilizó un algoritmo colonia de hormigas, García (2007). Trabaja el TSP para tratar de obtener la mejor ruta, el modelo propuesto es un recorrido que parte de una ciudad origen, recorre varias ciudades y regresa al mismo origen, emplea métodos heurísticos de inserción y ahorro sí como el algoritmo meta-heurístico de redes neuronales (RN) para calcular las rutas óptimas o cercanas a las óptimas, Gallego & otros (2007) trabajan modelos de optimización con algoritmos metaheurísticos, el problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos MDVRP, el algoritmo trabajado sigue los principios de una búsqueda local y entornos variables.

2.5 Conclusiones del capítulo

En síntesis, existen muchas opciones de optimización del transporte que se pueden desarrollar través de modelo matemáticos, bien sea utilizando heurísticas, metaheurísticas, algoritmos o la combinación de ellos creando híbridos con el fin de buscar la solución óptima, teniendo en cuenta aspectos como la ubicación de los centros de distribución, ventanas de tiempo, ubicación de los clientes internos y externos, homogeneidad de la flota, tiempo de cargue y descargue de los vehículos, entregas y recogidas simultaneas, canal de distribución que se utiliza, tiempos de entrega o promesa de servicio y tamaño de flota a utilizar.

Así mismo, dependiendo de la complejidad del modelo se pueden utilizar herramientas tecnológicas simples como el Excel para la obtención de los resultados de la puesta en marcha de los modelos.

En la revisión del estado del arte los trabajos que se han desarrollado para los transportes primarios y secundarios se fundamentan en las heurísticas y metaheurísticas así como en la programación lineal y la gestión de inventarios, todos estos conceptos están inmersos y hacen parte fundamental de la investigación de operaciones.

De acuerdo al estado del arte, para el transporte primario utilizado en Mexichem Colombia SAS el método que más parece acoplarse es el modelo básico de transporte el cual se puede solucionar de una manera fácil con un método exacto y programación lineal, y para el transporte secundario

el modelo que más se ajusta es el VRPMDTW. En la Tabla 3 se muestra un resumen de la bibliografía relacionada con los transportes primarios y secundarios.

Tabla 3. Clasificación de la bibliografía

| Autor | Característica | Metodología | Transporte primario | | | | Transporte secundario | | | |
|--|--|--------------------------------|---------------------|-----|----|-----|-----------------------|-----|----|-----|
| | | | DA | RMC | RC | MNV | DA | RMC | RC | MNV |
| Acevedo A. Cachay, O., Raffo, E., (2012) | VRP TSP | Heurística, Metaheurísticas | | | | | X | X | | |
| Bernal, J., Martínez, M., Sánchez, J. (2005). | VRP | PL | | | | | | | X | |
| Bravo, J., Orjuela, J. Osorio, J. (2007). | Un Centro de distribución y varios almacenes | GI | X | | | | | | | |
| Colmenares, D. (2002). | VRP TSPTW | Heurística | | | | | X | X | | |
| Cruz, E., Medina, P., Restrepo, J. (2007). | VRP TSP | PL | | | | | X | X | | |
| Daza, J., Montoya, J., Narducci, F. (2009) | CVRP | Heurística, Metaheurísticas | | | | | X | X | | |
| Delgado, C., Pacheco, J. (2000). | VRPTW MIX VRP | Heurística, Metaheurísticas | | | | X | X | X | | |
| Fernández, A. (2007). | VRPSPD | Heurística | | | | | X | X | | |
| Gallego, M., Gómez A, Argüelles Da., García N. (2007). | MDVRP | Heurística, Metaheurísticas | | | | | X | X | | |
| García, M. (2007). | TSP | Metaheurísticas | | | | | X | X | | |
| González, F., González, G. (2006). | VRP MDVRP | Heurística, Metaheurísticas | | | | | X | X | | |

| Autor | Característica | Metodología | Transporte primario | | | | Transporte secundario | | | | |
|---|--------------------|--------------------------------|---------------------|-----|----|-----|-----------------------|-----|----|-----|--|
| | | | DA | RMC | RC | MNV | DA | RMC | RC | MNV | |
| Guillén, E., Barbeito, S., Martínez M. (2008). | VRPTW | Heurística | | | | | | X | | | |
| Martínez, F. (2008). | VRP | Metaheurísticas | | | | | | | | X | |
| Polacek, Hartl & Doerner (2004) | VRPMDTW | Algoritmos | | | | | | X | X | | |
| Pinzón, Y., Soto, D., Soto W. (2008). | TSP VRP MTSP | Metaheurísticas | | | | | | | | X | |
| Restrepo, J., Medina, P. (2008). | CVRP SALBP-1 | Heurística, Metaheurísticas | | | | | | X | X | X | |
| Utterbeec, F., Hartanto, W., Oudheusden, D., Cattrysse, D. (2009) | TTP | PL | | | | | | | | X | |
| Zhang, M., Janic, M., Tavasszy L. (2015) | TTP | PL | | | | | | | | X | |
| Köchel, P., Nieländer, U. (2005) | TTP | PL | | | | | | | | X | |

VRP: Problema de enrutamiento de vehículos; TSP : Problema del agente viajero; TSPTW: Problema de enrutamiento de vehículos con ventana de tiempo; CVRP: problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad y flota homogénea; VRPTW MIX: El problema de rutas con ventanas de tiempo y con carga y descarga simultánea con flota heterogénea; VRPSPD: Problema de enrutamiento de vehículos con recogida y entrega simultánea; VRPMDTW: Problema de enrutamiento de vehículos con Multi depósito y ventanas de tiempo; MDVRP: problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos; VRPTW: El problema de rutas con ventanas de tiempo y con carga y descarga simultánea; MTSP: Múltiple problema del agente viajero; SALBP-1: Balanceo de la línea de montaje simple 1; TTP: El problema del transbordo.

PL: Programación lineal, GI: Gestión de inventarios.

DA: Disminución de agotados, RMC: Ruta más corta, RC: Reducción de costos, MNV: Mínimo número de vehículos.

Fuente: Elaboración propia del autor

En el capítulo siguiente se describe el enfoque de solución propuesto.

CAPÍTULO 3

PROPUESTA DE SOLUCION

En los capítulos anteriores se describieron en detalle tanto la situación actual del sistema de abastecimiento distribución de Mexichem Colombia SAS como la revisión de la literatura relacionada. En el presente capítulo se presenta una propuesta de solución del problema, la estructura general del enfoque de solución se muestra en la Figura 5. La descripción detallada de cada uno de los modelos de optimización empleados para resolver el problema de transporte primario y secundario, respectivamente, se presenta en las siguientes secciones del capítulo.

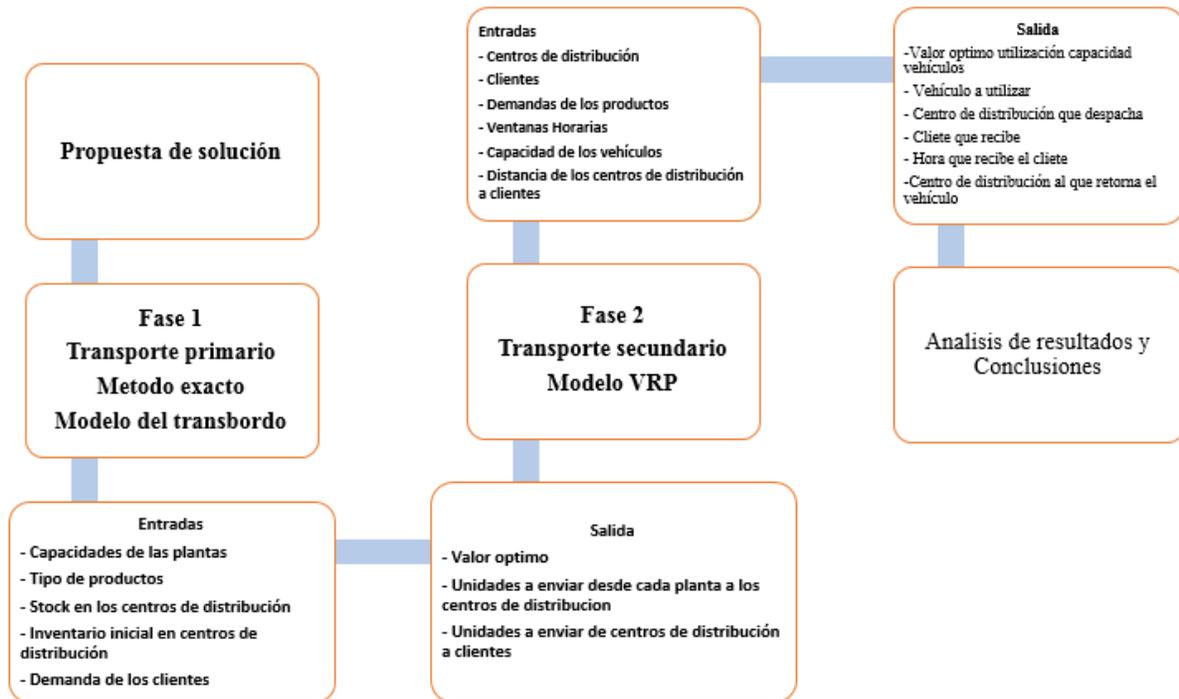


Figura 5. Secuencia secciones propuestas de solución

3.1 Transporte primario

Mexichem Colombia SAS cuenta con tres plantas ubicadas en Bogotá, Barranquilla y Guachene Cuaca (puntos de origen en el modelo para el transporte primario) y con centros de distribución en Bogotá, Cali, Barranquilla y Medellín (puntos de origen para el transporte secundario), de donde se realizan los despachos a clientes.

De cada planta se seleccionó un producto para efectos de la realización del modelo los cuales se muestra en la Tabla 4 así como la capacidad de producción, para cada centro de distribución se tiene estimado un nivel de inventario para atender la demanda mensual de los clientes por cada uno de los productos seleccionados, esta demanda para efectos de creación del modelo y su posterior programación en GAMS se tomó como la misma capacidad que se cuenta para el almacenamiento en cada centro, es decir que el nivel de inventario establecido para un producto en cada centro se asemeja a la capacidad de almacenamiento. La Tabla 5 muestra la demanda de cada centro de distribución.

Tabla 4. Productos fabricados por planta y capacidad de producción mensual

| Planta de Producción | Producto | Capacidad de producción en Unidades |
|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Guachene | TB BIAX 8 6M PR160 | 5,040 |
| Bogotá | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | 4,441 |
| Barranquilla | TB ACU 4 UM RDE51 6M | 3,000 |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 5. Demanda por centros de distribución y por producto.

| Producto | CD Bogotá | CD Medellín | CD Barranquilla | CD Cali |
|-----------------------------------|-----------|-------------|-----------------|---------|
| TB BIAX 8 6M PR160 | 960 | 640 | 760 | 680 |
| TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | 440 | 160 | 360 | 200 |
| TB ACU 4 UM RDE51 6M | 640 | 240 | 320 | 240 |

Fuente: Elaboración propia del autor

El tipo de vehículo que se utiliza para el transporte de las plantas a los centros de distribución en su gran mayoría es tipo sencillo, este vehículo es clasificado por el Ministerio de transporte como tipo C2 que significa camión rígido de dos ejes. Las características de estos vehículos se muestran

en la Tabla 6. Estas características de capacidad de estos vehículos tanto en peso como en volumen se adaptan de una mejor manera a las dimensiones de los productos que se fabrican en cada una de las plantas de Mexichem Colombia SAS, los productos seleccionados para el diseño del modelo tienen un largo de seis metros y por normativas del Ministerio de Transporte, en un vehículo de carga la mercancía transportada solo puede tener como máximo un metro de cola, el vehículo tipo sencillo llega a tener hasta siete metros de longitud por lo que no genera problemas para el transporte de los productos seleccionados además estos vehículos son mucho más fáciles de conseguir en el mercado *spot* del transporte en Colombia ya que según datos de Ministerio de Transporte el 69,46% de la oferta de vehículos de carga en Colombia son Tipo sencillos, por lo tanto hay una gran oferta de este tipo de vehículos en todo el país tal como se puede ver en la Tabla 7.

Tabla 6. Tipología de vehículos en Colombia.

| Tipo de vehículo | Capacidad de carga | | | | Volumen m ³ |
|------------------|--------------------|------------|--------------------|------------|------------------------|
| | en toneladas | Alto | Largo | Ancho | |
| Turbo | Hasta 4.5 | Hasta 2.70 | Hasta 5 metros | Hasta 2.30 | Hasta 31 |
| Sencillo | Hasta 8.5 | Hasta 2.70 | Hasta 7 metros | Hasta 2.50 | Hasta 47.5 |
| Doble troque | Hasta 17 | Hasta 2.60 | Hasta 8 metros | Hasta 2.50 | Hasta 52 |
| Cuatro manos | Hasta 22 | Hasta 2.60 | Hasta 7.60 metros | Hasta 2.50 | Hasta 49 |
| Mini mula | Hasta 22 | Hasta 2.50 | Hasta 12.50 metros | Hasta 2.50 | Hasta 78 |
| Tracto camión | Hasta 33 | Hasta 2.50 | Hasta 12.50 metros | Hasta 2.50 | Hasta 78 |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 7. Oferta por tipo de vehículos en Colombia.

| Tipo de vehículo | Total parque automotor | % |
|--|------------------------|--------|
| C2 Rígido Tipo sencillo | 59,284 | 69.46% |
| C3 Rígido Tipo doble troque | 7,262 | 8.51% |
| C4 Rígido tipo Cuatro Manos | 162 | 0.19% |
| C2S, C3S Articulados (Tracto Camiones) | 18,642 | 21.84% |
| Total parque automotor Publico | 85,350 | 100% |

Fuente: Ministerio de transportes

Por las características de los productos y los usos que tienen, se toma el vehículo tipo sencillo como referencia para efectos del diseño del modelo, como se asume que los traslados desde las

plantas a centros de distribución se realizan en este tipo de vehículos, se ha determinado el número de unidades que se pueden despachar en este tipo de vehículo como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Unidades de producto por vehículo.

| Producto | Unidades en la plancha del camión | Unidades que caben a lo alto del camión | Total unidades por vehículo |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------|
| TB ACU 4 UM RDE51 6M | 21 | 26 | 546 |
| TB BIAX 8 6M PR160 | 10 | 13 | 130 |
| TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | 3 | 4 | 12 |

Fuente: Elaboración propia del autor

3.2 Política de fletes en Mexichem Colombia SAS

Para los transportes que se generan desde las plantas a los centros de distribución se tiene establecida una tabla de fletes para cada tipo de vehículos. En la Tabla 9 se describen los valores de fletes para el vehículo tipo sencillo, a partir de la determinación del número de unidades que se pueden transportar y el costo del flete se determina entonces el costo de enviar cada uno de los productos desde las plantas a cada uno de los centros de distribución tal como se observa en la Tabla 10.

Tabla 9. Costo de transporte de plantas a Centros de distribución.

| Planta de producción | Centro de distribución | Flete |
|----------------------|------------------------|--------------|
| Bogotá | Bogotá | \$ 0 |
| Bogotá | Cali | \$ 830,000 |
| Bogotá | Medellín | \$ 1,100,000 |
| Bogotá | Barranquilla | \$ 1,430,000 |
| Guachene | Cali | \$ 350,000 |
| Guachene | Bogotá | \$ 1,100,000 |
| Guachene | Medellín | \$ 900,000 |
| Guachene | Barranquilla | \$ 1,600,000 |
| Barranquilla | Barranquilla | \$ 0 |
| Barranquilla | Cali | \$ 1,600,000 |
| Barranquilla | Bogotá | \$ 1,600,000 |
| Barranquilla | Medellín | \$ 1,200,000 |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 10. Costo de flete por unidad abastecida.

| Planta de producción | Centro de distribución | Flete por viaje (\$) camión sencillo | Producto a trasladar | Unidades por camión sencillo | flete por unidad |
|----------------------|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------|
| Bogotá | Cali | 830,000 | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | 12 | \$ 69,167 |
| Bogotá | Medellín | 1,100,000 | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | 12 | \$ 91,667 |
| Bogotá | Barranquilla | 1,430,000 | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | 12 | \$ 119,167 |
| Guachene | Cali | 350,000 | TB BIAX 8 6M PR160 | 130 | \$ 2,692 |
| Guachene | Bogotá | 1,100,000 | TB BIAX 8 6M PR160 | 130 | \$ 8,462 |
| Guachene | Medellín | 900,000 | TB BIAX 8 6M PR160 | 130 | \$ 6,923 |
| Guachene | Barranquilla | 1,600,000 | TB BIAX 8 6M PR160 | 130 | \$ 12,308 |
| Barranquilla | Cali | 1,600,000 | TB ACU 4 UM RDE51 6M | 546 | \$ 2,930 |
| Barranquilla | Bogotá | 1,600,000 | TB ACU 4 UM RDE51 6M | 546 | \$ 2,930 |
| Barranquilla | Medellín | 1,200,000 | TB ACU 4 UM RDE51 6M | 546 | \$ 2,198 |

Fuente: Elaboración propia del auto

3.3. Planteamiento del modelo transporte primario

El modelo planteado está basado en el problema de transporte el cual consiste determinar cantidad de producto a transportar entre dos puntos, para el caso de estudio desde las plantas de producción a los centros de distribución.

Para este primer modelo se tienen las siguientes características:

- La función objetivo es minimizar el costo de los transportes primarios desde las plantas a los centros de distribución.
- Se tienen en cuenta las plantas de Bogotá, Guachene y Barranquilla.
- Los centros de distribución que se van a contemplar en este modelo son: Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla.
- Se determina que la cantidad que ingresa a los centros de distribución por concepto de abastecimiento de las plantas son los mismos que salen por balanceo de la operación.

Notación

Conjuntos e índices

I : Plantas

J : Centros de distribución

K : Clientes

P : Productos

Variables de decisión

Las variables de decisión establecidas en este modelo buscan determinar de una manera adecuada la cantidad de producto que se debe enviar desde cada planta a cada centro de distribución, teniendo en cuenta la cantidad a ser abastecida y las capacidades de producción establecidas en cada planta, y por otra parte determinan la cantidad de producto a ser despachado desde cada centro a los clientes.

X_{ijp} : Cantidad a enviar del producto P desde la planta I al centro de distribución j

Y_{jkp} : Cantidad a enviar del producto P desde el centro de distribución J al cliente K

Parámetros:

W_{ip} : Capacidad de producción de la planta I de producir el producto P

F_{jp} : Stock en el centro de distribución J de los productos P

H_{jp} : Inventario inicial en el centro de distribución J de los productos P

D_{kp} : Demanda de los clientes K de los productos P

C_{ij} : Costo de ir de la planta I al centro de distribución J

C_{jk} : Costo de ir del centro de distribución J al cliente K

Modelo

Función Objetivo

$$\text{Min } z = \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} C_{ij} X_{ijp} + \sum_{\forall j} \sum_{\forall k} C_{jk} Y_{jkp}$$

Restricciones:

1. La cantidad a enviar de los productos desde las plantas a los centros de distribución debe ser menor o igual a la capacidad de producción de las plantas.

$$\sum_{\forall j} X_{ijp} \leq W_{ip} \quad \forall i, \forall p$$

2. La cantidad de producto trasladado de las plantas a los centros de distribución sumada al stock la cantidad de producto enviado de los centros de distribución a los clientes da como resultado el inventario inicial de los centros de distribución.

$$\sum_{\forall i} X_{ijp} + F_{jp} - \sum_{\forall k} Y_{jkp} = H_{jp} \quad \forall j, \forall p$$

3. La cantidad de producto que se despacha de los centros de distribución a los clientes es igual a la demanda de los clientes.

$$\sum_{\forall i} Y_{jkp} = D_{kp} \quad \forall k, \forall p$$

4. Las cantidades a enviar de producto de las plantas a los centros de distribución y la cantidad a enviar desde los centros de distribución a los clientes debe ser mayores a cero.

$$X_{ijp} \geq 0 \quad \forall i, \forall j, \forall p$$

$$Y_{jkp} \geq 0 \quad \forall j, \forall k, \forall p$$

3.4 Análisis de sensibilidad del modelo transporte primario

Uno de los retos más grandes que afrontan las empresas es la variabilidad que se presentan en los mercados y que trae como consecuencia variabilidad en las demandas, estas pueden estar asociadas a aspectos económicos, políticos, sociales, etc. Los gerentes de operaciones deben estar en constante vigilancia de estos comportamientos con el fin de tomar medidas que les permitan ser proactivos ante estos cambios, adicionalmente cuando se trabaja en un mercado donde las materias primas son *commodity* derivados del petróleo que no solo presentan variaciones en sus precios sino que también pueden presentar escases de los mismos bien sea por la manipulación de los precios o por aumento de la demanda mundial como es el caso de la resina la cual es una materia prima esencial para la fabricación de los productos de PVC, se puede presentar una situación de desabastecimiento de materias primas que de inmediato generaría una baja en la producción afectando las capacidades de las plantas. Es de tener en cuenta que las capacidades de producción

de las plantas se pueden ver afectadas por paros en las maquinas, Huelgas, problemas de calidad, etc.

Dado este entorno se van a simular en el modelo dos entornos diferentes, uno donde se presenta un aumento de la demanda de los productos y otro donde se presenta una baja en la capacidad en las plantas de producción, ya que estos escenarios son lo que podrían de una u otra manera afectar de forma el comportamiento de la gestión de transportes tanto primario como secundarios. Los resultados de estos escenarios se compararan con el resultado inicial que dio el modelo.

3.4.1 Modelo con aumento en las demandas

Para analizar la sensibilización en las demandas de los productos se van a simular tres diferentes escenarios para analizar el comportamiento del modelo y los resultados que se obtengan, en primera instancia se simula un escenario donde se da un aumento leve en las demandas, este tipo de situaciones pueden presentarse por el comportamiento propio del mercado, por una mejor gestión comercial o el ingreso de nuevos clientes, en la Tabla 11 se muestra el incremento en la demanda de cada producto.

Tabla 11. Aumento leve en la demanda por centro de distribución

| Producto | Bogotá | | Medellín | | Barranquilla | | Cali | | % De variación |
|-----------------------------------|---------|---------|----------|---------|--------------|---------|---------|---------|----------------|
| | Demanda | | Demanda | | Demanda | | Demanda | | |
| | Inicial | Aumento | Inicial | Aumento | Inicial | Aumento | Inicial | Aumento | |
| TB BIAX 8 6M PR160 | 960 | 1,027 | 640 | 666 | 760 | 798 | 680 | 700 | 4.74% |
| TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | 440 | 458 | 160 | 171 | 360 | 382 | 200 | 212 | 5.10% |
| TB ACU 4 UM RDE51 6M | 640 | 691 | 240 | 252 | 320 | 333 | 240 | 247 | 5.46% |

Origen: Elaboración propia del autor

Se contempla un segundo escenario con un aumento considerable en las demandas de los tres productos, este es un escenario muy común en las empresas industriales y se pueden presentar por varios motivos, uno de ellos puede ser un aumento anunciado en los precios de los productos, esto genera una mayor demanda para que los clientes tengan un mayor margen de ganancia, pues son

productos no perecederos y de buena rotación en el mercado. En la Tabla 12 se muestra el incremento de la demanda de cada producto.

Tabla 12. Aumento medio en la demanda por centro de distribución

| Producto | Bogotá | | Medellín | | Barranquilla | | Cali | | % De variación |
|-----------------------------------|---------|---------|----------|---------|--------------|---------|---------|---------|----------------|
| | Demanda | | Demanda | | Demanda | | Demanda | | |
| | Inicial | Aumento | Inicial | Aumento | Inicial | Aumento | Inicial | Aumento | |
| TB BIAX 8 6M PR160 | 960 | 1,152 | 640 | 768 | 760 | 988 | 680 | 809 | 18,22% |
| TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | 440 | 519 | 160 | 208 | 360 | 432 | 200 | 232 | 16,62% |
| TB ACU 4 UM RDE51 6M | 640 | 800 | 240 | 283 | 320 | 352 | 240 | 293 | 16,67% |

Origen: Elaboración propia del autor

Un tercer escenario planteado, en este se tiene un aumento significativo en la demanda del producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M, en el mercado en el que participa Mexichem Colombia SAS es muy frecuente que estas situaciones se presenten ya que algunos productos como este son utilizados para proyectos de infraestructura por lo que en cualquier momento se puede presentar una situación de demandas altas del producto. En la Tabla 13 se muestra el incremento de la demanda de este producto.

Tabla 13. Alta demanda del producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M

| Producto | Bogotá | | Medellín | | Barranquilla | | Cali | | % De variación |
|-----------------------------------|---------|---------|----------|---------|--------------|---------|---------|---------|----------------|
| | Demanda | | Demanda | | Demanda | | Demanda | | |
| | Inicial | Aumento | Inicial | Aumento | Inicial | Aumento | Inicial | Aumento | |
| TB BIAX 8 6M PR160 | 960 | 0 | 640 | 0 | 760 | 0 | 680 | 0 | 0.00% |
| TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | 440 | 748 | 160 | 264 | 360 | 594 | 200 | 320 | 40.00% |
| TB ACU 4 UM RDE51 6M | 640 | 0 | 240 | 0 | 320 | 0 | 240 | 0 | 0.00% |

Origen: Elaboración propia del autor

3.4.2 Sensibilización con variaciones en la capacidad de producción

Para esta sensibilización en las capacidades de producción de las plantas se van a simular tres diferentes escenarios para analizar el comportamiento del modelo y los resultados que se obtenga; en primera instancia se simula un escenario donde se da una disminución en las capacidades de producción de las tres plantas, este tipo de situaciones pueden presentarse por falta de una materia

prima o de un insumo que sea afín para los productos como por ejemplo la resina. En la Tabla 14 se muestra las reducciones en las capacidades por planta.

Tabla 14. Reducción media de capacidad de producción por planta

| Planta de producción | Producto que fabrica | Capacidad de producción | Capacidad Reducida | % de reducción |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Guachene | TB BIAx 8 6M PR160 | 5,040 | 4,284 | 15% |
| Bogotá | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | 4,441 | 3,997 | 10% |
| Barranquilla | TB ACU 4 UM RDE51 6M | 3,000 | 2,850 | 5% |

Origen: Elaboración propia del autor

Se simula un segundo escenario donde se da una reducción total de la capacidad de producción en la planta Barranquilla, estas situaciones pueden presentarse por un paro en las maquinas por problemas mecánicos graves donde su reparación es prolongada ya que la tecnología que emplean es Europea y algunos repuestos toman días en conseguirse. En la Tabla 15 se muestra la reducción en la producción de dicha planta.

Tabla 15. Reducción total de la capacidad de producción planta Barranquilla

| Planta de producción | Producto que fabrica | Capacidad de producción | Capacidad Reducida | % de reducción |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Guachene | TB BIAx 8 6M PR160 | 5,040 | 0 | 0% |
| Bogotá | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | 4,441 | 0 | 0% |
| Barranquilla | TB ACU 4 UM RDE51 6M | 3,000 | 3,000 | 100% |

Origen: Elaboración propia del autor

Se simula un escenario de disminución significativa de la capacidad de producción de las tres plantas de producción, esta es una situación que se puede presentar cuando hay una situación de huelga o carencia de una materia prima como la resina, puede darse por escases mundial de este producto como se ha presentado en algunas ocasiones. En la Tabla 16 se muestra la disminución de capacidad de las plantas.

Tabla 16. Reducción significativa de la capacidad de producción de las tres plantas

| Planta de producción | Producto que fabrica | Capacidad | Capacidad | % de reducción |
|----------------------|-----------------------------------|---------------|-----------|----------------|
| | | de producción | Reducida | |
| Guachene | TB BIAx 8 6M PR160 | 5,040 | 1,512 | 70% |
| Bogotá | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | 4,441 | 1,332 | 70% |
| Barranquilla | TB ACU 4 UM RDE51 6M | 3,000 | 2,100 | 30% |

Origen: Elaboración propia del autor

3.5 Datos para el modelo de transporte secundario

Para llegar a los consumidores finales, Mexichem Colombia SAS cuenta con diferentes canales de distribución descritos en el capítulo 1, esto le permite tener un cubrimiento a nivel nacional ya que las características y usos de los productos exigen que sea de esta manera, por lo tanto la reducción de los costos de transporte secundarios es una prioridad para la compañía por el impacto financiero que representan, de aquí parte la importancia de generar ahorros sin dejar a un lado el nivel de servicio que debe ser en todo momento elemento diferenciador frente a los competidores.

Esta mezcla de ahorros y servicio es lo que se pretende desarrollar en los modelos planteados que servirán a la compañía para la toma de decisiones de manera inteligente, estratégica y sobre todo enfocada al servicio de los clientes.

Para efectos del desarrollo del modelo para el transporte secundario se han tenido en cuenta aspectos que son relevantes dentro del sistema de distribución de Mexichem Colombia SAS, estos elementos se describen en la Tabla 17.

Tabla 17. Aspectos relevantes sistema de distribución Mexichem Colombia.

| Ítem | Comentario |
|--|--|
| Cliente | Cliente que realiza el pedidos |
| Ruta | Ruta desde el centro de distribución hasta el cliente |
| Paradas en ruta | Posibles ciudades intermedias que se encuentran desde la ciudad origen hasta la ciudad destino de la ruta |
| Valor del flete | Valor del flete que se paga por ruta |
| Tipo de vehículo | Sencillo |
| Distancia | Medida en kilómetros desde la ciudad origen hasta la ciudad destino |
| Tiempo de transito | Tiempo de tránsito desde la ciudad origen hasta la ciudad destino |
| Ventana horaria | Horarios de recibo establecidos por el cliente |
| Relación peso volumen de los productos | Combinación de los productos a cargar donde se tiene en cuenta volumen y peso de los productos a despachar |

Fuente: Elaboración propia del autor

3.5.1 Clientes y Rutas

Para las marcas Celta y Pavco, Mexichem Colombia cuenta con más de 4.000 clientes distribuidos a lo largo y ancho del territorio nacional, estos clientes están clasificados de acuerdo al negocio en el cual participan en la Tabla 18 se describe esta clasificación.

Tabla 18. Clasificación clientes Mexichem Colombia.

| Tipo de clientes por mercado | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Tipo de cliente | Mercado |
| Constructores | Obras civiles e infraestructura |
| Petroleros | Conducción de fluidos petroquímicos |
| Mayoristas | Obras civiles y ferreteros |
| Ferreteros | Mercado al detal |

Fuente: Elaboración propia del autor

Muchos de los clientes realizan compras en una ciudad pero piden que sus entregas sean realizadas en otra, otros clientes tienen sucursales en varias ciudades del país y solicitan sus entregas de acuerdo a sus necesidades y solicitudes de sus clientes, los pedidos no necesariamente son entregados en las instalaciones de los clientes, se pueden realizar directamente en el sitio del destinatario final, es decir en el cliente del cliente, esto con el fin de evitar gastos adicionales de transporte a sus clientes.

Para efectos de la elaboración de este modelo de transporte se hace una selección aleatoria de clientes paretos que demandan los productos con los cuales se realizó el modelo de transporte secundario descritos en el capítulo 6. Así mismo las rutas en las cuales están clasificados en el sistema de información SAP, este detalle se muestra en el anexo 1.

3.5.2 Origen, destino, paradas en rutas y fletes

Una ruta la cual tiene como origen la ciudad donde está ubicado el centro de distribución, punto intermedio tiene un destino final donde termina sus entregas, sin embargo es posible que en la ruta se encuentren otras entregas con el fin de optimizar el costo de transporte secundario ya que la idea es transportar el mayor volumen posible a fin de reducir el costo de transporte por unidad, este flujo se describe en la Figura 6. Y en el Anexo 2. Se detalla los posibles destinos intermedios por ruta.

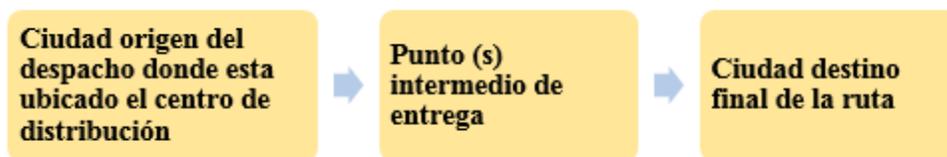


Figura 6. Flujo de rutas origen, intermedias y destino transporte secundario

3.5.3 Distancia, tiempos de tránsito y ventanas horarias

Para cada una de las rutas se tiene establecida la distancia que hay en kilómetros así como los tiempos de tránsito origen – destino, estos datos son tenidos en cuenta para la programación de los despachos ya que se deben realizar las entregas de acuerdo a las ventanas horarias establecidas los clientes para los recibos, la distancia, tiempos de tránsito por ruta y ventanas horarias de los clientes seleccionados para la elaboración del modelo se muestran en el anexo 3.

3.5.4 Distribución unidades a transportar

Para efectos de la programación del modelo se asumirá que en un camión tipo sencillo desde cualquier centro de distribución y para cualquier cliente se despachan los mismos productos, es decir que es similar a tomar la capacidad del vehículo y dividirla en tres partes iguales donde irá cada uno de los productos, la combinación de estos y la cantidad de los mismos se detallan en la Tabla 19.

Tabla 19. Unidades a transportar por vehículo

| Producto | Unidades por vehículo tipo sencillo |
|-----------------------------------|--|
| TB ACU 4 UM RDE51 6M | 188 |
| TB BIA X 8 6M PR160 | 44 |
| TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | 4 |

Fuente: Elaboración propia del autor

Determinadas las unidades de cada producto que pueden despacharse en un vehículo tipo sencillo, se establece el costo de flete secundario por unidad transportada en cada ruta tal como se muestra en el anexo 4.

3.6 Planteamiento del modelo transporte secundario

El modelo planteado está basado en el modelo de transporte VRPMDTW (*Vehicle Routing Problem Multi Depot With Time Windows*), para este modelo los puntos de origen son los centros de distribución, el objetivo es obtener la ruta óptima.

Índices y conjuntos

J : Conjunto de vértices que incluye a los centros de distribución así como a los clientes de cada ciudad. = $\{CD, C\}$

CD : Subconjuntos de centros de distribución = $\{1=Cali, 2=Medellín, 3=Bogotá, 4=Barranquilla\}$.

C : Subconjunto de clientes = $\{1, \dots, n\}$

N : Conjunto copia de J

M : Conjunto de productos a transportar $\{1, 2, 3\}$

F : Conjunto que define el tipo de vehículo = $\{CC, CM, CB, CBU\}$

CC Subconjuntos del número de carros con el que dispone la ciudad de Cali

CM : Subconjuntos del número de carros con el que dispone la ciudad de Medellín

CB : Subconjuntos del número de carros con el que dispone la ciudad de Bogotá

CBU : Subconjuntos del número de carros con el que dispone la ciudad de Barranquilla

Definición de variables

Y_{jnf} : Variable de decisión binaria. 1 si el arco j-n pertenece a la ruta del carro f. 0

H_n : Hora en la que el cliente n es visitado

U_{jf} : Variable auxiliar no negativa continua define la carga del vehículo después de visitar un cliente j en el vehículo f

Parámetros

$Factor2(m)$ = Ft³ que ocupa el producto tipo m

$Factor1(m)$ = Toneladas que pesa el producto tipo m

$Costo2(j, n)$ = costo fijo de flete de ir del punto j al punto n.

l = valor aleatorio positivo muy grande

$Cappeso$ = capacidad en toneladas del vehículo

$Capvolumen$ = capacidad en toneladas del vehículo

x = Número de vehículos disponibles

$Inv(j, m)$ = inventario del producto m disponible en el CD j

$Dem(n, m)$ = Demanda del producto m requerida por el cliente m.

Función Objetivo:

$$Max Z = 0.5 * \frac{\sum_{\forall m} \sum_{\forall f} \sum_{\forall j} \sum_{\forall n} Y_{jnf} * Dem(n,m) * factor2(m)}{x * Capvolumen} + 0.5 * \frac{\sum_{\forall m} \sum_{\forall f} \sum_{\forall j} \sum_{\forall n} Y_{jnf} * Dem(n,m) * factor1(m)}{x * Cappeso}$$

Con esta función objetivo se busca maximizar la utilización de la capacidad de carga de los vehículos a través de la relación peso-volumen, entre mayor sea el volumen y el peso cargado menor es el costo de unidad transportada, por esta razón se da un peso ponderado a cada una de estos parámetros del 50% para efectos de la programación del modelo, no es fácil asignar otra ponderación ya que el mix de productos a transportar pueda variar para cada despacho.

La función objetivo además de ayudar a que el costo por unidad transportada sea menor también apunta al incremento del nivel de servicio por la vía de aumento de carga transportada, es decir que lleva más pedidos de clientes.

Restricciones:

1. Salen del centro de distribución de Cali solo los carros que se necesitan.

$$\sum_{\forall n} Y_{1nf} \leq 1 \quad \forall f \in CC$$

2. Regresan al centro de distribución de Cali los carros que salieron del CD de Cali.

$$\sum_{\forall j} Y_{j1f} \leq 1 \quad \forall f \in CC$$

3. Del CD de Cali sólo salen los carros que pertenecen al CD de Cali.

$$\sum_{\forall n} Y_{jnf} = 0 \quad \forall j \in CD / \{1\}, \forall f \in CC$$

4. Los carros que salen del CD de Cali no pueden llegar a un CD diferente a Cali.

$$\sum_{\forall j} Y_{jnf} = 0 \quad \forall n \in CD / \{1\}, \forall f \in CC$$

5. Salen del centro de distribución de Medellín solo los carros que necesito.

$$\sum_{\forall n} Y_{2nf} \leq 1 \quad \forall f \in CM$$

6. Regresan al centro de distribución de Medellín los carros que salieron del CD de Medellín.

$$\sum_{\forall j} Y_{j2f} \leq 1 \quad \forall f \in CM$$

7. Del CD de Medellín sólo salen los carros que pertenecen al CD de Medellín.

$$\sum_{\forall n} Y_{jnf} = 0 \quad \forall j \in CD / \{2\}, \forall f \in CM$$

8. Los carros que salen del CD de Medellín no pueden llegar a un CD diferente al de Medellín.

$$\sum_{\forall j} Y_{jnf} = 0 \quad \forall n \in CD / \{2\}, \forall f \in CM$$

9. Salen del centro de distribución de Bogotá solo los carros que necesito.

$$\sum_{\forall n} Y_{3nf} \leq 1 \quad \forall f \in CB$$

10. Regresan al centro de distribución de Bogotá los carros que salieron del CD.

$$\sum_{\forall j} Y_{j3f} \leq 1 \quad \forall f \in CB$$

11. Del CD de Bogotá sólo salen los carros que pertenecen al CD de Bogotá.

$$\sum_{\forall n} Y_{jnf} = 0 \quad \forall j \in CD / \{3\}, \forall f \in CB$$

12. Los carros que salen del CD de Bogotá no pueden llegar a un CD diferente al de Bogotá.

$$\sum_{\forall j} Y_{jnf} = 0 \quad \forall n \in CD / \{3\}, \forall f \in CB$$

13. Salen del centro de distribución de Barranquilla solo los carros que necesito.

$$\sum_{\forall n} Y_{4nf} \leq 1 \quad \forall f \in CBU$$

14. Regresan al centro de distribución de Barranquilla los carros que salieron del CD.

$$\sum_{\forall j} Y_{j4f} \leq 1 \quad \forall f \in CBU$$

15. Del CD de Barranquilla sólo salen los carros que pertenecen al CD de Barranquilla.

$$\sum_{\forall n} Y_{jnf} = 0 \quad \forall j \in CD / \{4\}, \forall f \in CBU$$

16. Los carros que salen del CD de Bogotá no pueden llegar a un CD diferente al de Barranquilla.

$$\sum_{\forall j} Y_{jnf} = 0 \quad \forall n \in CD / \{4\}, \forall f \in CBU$$

17. Los centros de distribución no pueden abastecerse entre sí, No salen vehículos de un centro de distribución a otro.

$$\sum_{\forall f} \sum_{\forall n \in CD} Y_{jnf} = 0 \quad \forall j \in CD$$

18. Tampoco entran vehículos de un CD a otro.

$$\sum_{\forall f} \sum_{\forall j \in CD} Y_{jnf} = 0 \quad \forall n \in CD$$

19. Sí un carro llega a un cliente debe salir de este y continuar la ruta al siguiente.

$$\sum_{\forall j} \sum_{\forall n \in C} Y_{jnf} = \sum_{\forall n \in C} \sum_{\forall j} Y_{njf} \quad \forall f$$

20. Restricción de eliminación de sub-tours.

$$U_{jf} - U_{nf} + L * Y_{jnf} \leq L - 1 \quad \forall j \in C, \forall f$$

21. Los clientes solo pueden ser visitados por un solo vehículo.

$$\sum_{\forall j \in C} \sum_{\forall f} Y_{jnf} \leq 1 \quad \forall n \in C$$

22. La cantidad de producto que envíe en un vehículo, debe ser menor o igual a la capacidad del mismo.

$$\sum_{\forall j} \sum_{\forall n} Y_{jnf} * Dem(n,m) * factor1(m) \leq Cappeso \quad \forall f$$

$$\sum_{\forall j} \sum_{\forall n} Y_{jnf} * Dem(n,m) * factor2(m) \leq Capvolumen \quad \forall f$$

23. La cantidad de producto que salga de un centro de distribución a los clientes no debe superar a las existencias dentro del centro de distribución.

$$\sum_{\forall n} \sum_{\forall f} Y_{jnf} * Dem(n,m) \leq Inv(j,m) \quad \forall j, \forall m$$

24. La hora en la que es visitado cada cliente, debe estar dentro de la ventana de tiempo permisible de ese cliente.

$$H_n \leq HoraMáxima(n) \quad \forall n \in C$$

$$H_n \geq HoraMínima(n) \quad \forall n \in C$$

Junto con la restricción de relación;

$$H_n + TD + Tv(j,n) \leq H_n + (1 - Y_{j,n,f}) * \ell \quad \forall j, \forall f, \forall n$$

Caracterización de las variables

$$\begin{aligned}H_n &\geq 0 && \forall n \\Y_{jnf} &\in \{1,0\} && \forall j, \forall n, \forall f \\U_{jf} &\geq 0 && \forall j, \forall f\end{aligned}$$

3.7 Análisis de sensibilidad del modelo transporte secundario

Para el análisis de sensibilidad del modelo de transporte secundario se tendrá en cuenta escenarios similares a los que se contemplaron en el modelo de transporte primario, esto con el fin de tener una coherencia de las situaciones presentadas para ambos modelos.

3.8 Conclusiones del capítulo

Se ha planteado la propuesta de solución matemática del modelo de transportes para Mexichem Colombia SAS en sus dos fases las cuales deberán ser programadas en el sistema GAMS y que corresponden a lo planeado en el sistema comercial de la compañía y los canales de distribución establecidos con los cuales se pretende garantizar un cubrimiento nacional y sobretodo la satisfacción de los clientes, el planteamiento de cada fase busca la optimización del sistema de distribución y a pesar que se haya trabajado con modelos diferentes estos son interdependientes, el transporte primario a través del modelo básico de transportes traslada el producto desde las plantas a los centros de distribución buscando minimizar los costos y el transporte secundario a través del modelo VRPMDTW envía los productos desde los centros de distribución a los clientes a través de una ruta lógica buscando optimizando la capacidad de carga de los vehículos.

En el capítulo siguiente se mostrará la validación numérica y los análisis de los resultados que arrojaron los modelos una vez se corrieron en el sistema y se proponen los indicadores de gestión

que se deben llevar para validar el desempeño del modelo tanto para el transporte primario como para el secundario.

CAPITULO 4

VALIDACIÓN NUMÉRICA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el capítulo anterior se realizó la propuesta de los modelos matemáticos a programar, en este capítulo se hará referencia a la validación numérica de los resultados que arroja el sistema GAMS una vez han corrido de manera correcta los modelos, en una primera sección se mostrarán los resultados del modelo del transporte primario y en una segunda sección se hará lo mismo para el modelo de transporte secundario así como los indicadores de gestión que se deben llevar para cada tipo de transporte.

4.1. Resultados para el transporte primario

4.1.1 Ambiente computacional transporte primario

Para la creación de los modelos planteados en el capítulo 4 para el transporte primario se utilizó el software GAMS, los experimentos se ejecutaron en un equipo marca Lenovo modelo de sistema 0677, procesador: Intel® Core™ inside™ i3 CPU M350 @ 2.27 GHz (4 CPUs), memoria: 3072MB RAM.

La ejecución de los modelos se hizo de manera secuencia, primero para el modelo de transporte primario y luego el modelo para el transporte secundario. Lo anterior significa que no se realizaron ejecuciones simultáneas en GAMS ni con otro software similares, es decir que el ambiente en el cual se llevó a cabo la ejecución proporcionó que el equipo de cómputo utilizara toda su capacidad.

4.2 Resultados obtenidos transporte primario

El modelo se generó de manera adecuada y encontró el valor óptimo de \$28.775.720, el tiempo de ejecución del modelo fue de 0.468 segundos y calcula las cantidades a trasladar por producto desde cada planta a los centros de distribución tal como se muestra en la Tabla 20. Así mismo calcula

las unidades de cada producto que se debe despachar de los centros de distribución a los clientes por ciudad tal como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 20. Cantidad de producto a trasladar de cada planta a centro de distribución

| Planta de producción | Centro de distribución | Producto y cantidad a trasladar | | |
|----------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | TB ACU 4 UM RDE51 6M | TB BIAx 8 6M PR160 |
| Bogotá | Bogotá | 1,160 | | |
| Guachene | Cali | | | 3,040 |
| Barranquilla | Bogotá | | 640 | |
| Barranquilla | Barranquilla | | 320 | |
| Barranquilla | Cali | | 240 | |
| Barranquilla | Medellín | | 240 | |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 21. Cantidad de producto a despachar de cada centro de distribución a los clientes

| Centro de distribución | Ciudad de ubicación del cliente | Producto y cantidad a trasladar | | |
|------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | TB ACU 4 UM RDE51 6M | TB BIAx 8 6M PR160 |
| Bogotá | Bogotá | 440 | 640 | |
| Bogotá | Barranquilla | 360 | | |
| Bogotá | Cali | 200 | | |
| Bogotá | Medellín | 160 | | |
| Barranquilla | Barranquilla | | 320 | |
| Cali | Bogotá | | | 960 |
| Cali | Barranquilla | | | 760 |
| Cali | Cali | | 240 | 680 |
| Cali | Medellín | | | 640 |
| Medellín | Medellín | | 240 | |

Fuente: Elaboración propia del autor

4.3 Indicadores de gestión transporte primario

Dado los resultados del modelo y como soporte para medición de desempeño del mismo se debe establecer como indicadores de gestión el costo de transporte primario sobre las ventas, costo de

kilo transportado de las plantas de producción a centros de distribución en pesos y en dólares. Estos indicadores medirán el desempeño en términos económicos del modelo.

4.4 Resultados análisis de sensibilización del modelo para transporte primario

4.4.1 Resultados aumento leve en la demanda

Con esta variación en la demanda se obtiene un valor óptimo de \$30.345.943, si se compara este valor con el óptimo obtenido en el modelo inicial se presenta un aumento de \$1.570. 223, de la misma manera se presenta un aumento de los productos a enviar desde cada planta a los centros de distribución por el efecto del incremento de la demanda, las capacidades de producción de las plantas no se ven afectadas por lo tanto pueden responder de manera eficiente a los aumentos que se presentan. En la Tabla 22 muestra la cantidad de producto a enviar desde cada a planta.

Tabla 22. Cantidad producto por planta a centros de distribución con leve aumento de demanda

| | | Producto y cantidad a trasladar | | | | | |
|-------------------------|---------------------------|---|--|-------------------------------|--|-------------------------------|--|
| | | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | | TB ACU 4 UM RDE51 6M | | TB BIAAX 8 6M PR160 | |
| Planta de producción | Centro de distribución | Cantidad modelo inicial | Cantidad con variación de la demanda | Cantidad modelo inicial | Cantidad con variación de la demanda | Cantidad modelo inicial | Cantidad con variación de la demanda |
| Bogotá | Bogotá | 1,160 | 1,223 | | | | |
| Guachene | Cali | | | | | 3,040 | 3,191 |
| Barranquilla | Bogotá | | | 640 | 691 | | |
| Barranquilla | Barranquilla | | | 320 | 333 | | |
| Barranquilla | Cali | | | 240 | 247 | | |
| Barranquilla | Medellín | | | 240 | 252 | | |

Fuente: Elaboración propia del autor

En la cantidad a enviar desde los centros de distribución a los clientes se presenta un aumento en el número de unidades a despachar, esta situación es coherente con el aumento de la demanda en los productos. En la Tabla 23 se ilustra las cantidades a enviar desde los centros de distribución a clientes en cada ciudad con el aumento leve en la demanda.

Tabla 23. Producto a enviar de centros de distribución a clientes con aumento medio de demanda

| Producto y cantidad a despachar | | | | | | | |
|--|---------------------------|--|---|--------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Centro de distribución | Ciudad a despachar | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | | TB ACU 4 UM RDE51 6M | | TB BIAX 8 6M PR160 | |
| | | Cantidad modelo inicial | Cantidad con variación de la demanda | Cantidad modelo inicial | Cantidad con variación de la demanda | Cantidad modelo inicial | Cantidad con variación de la demanda |
| Bogotá | Bogotá | 440 | 458 | 640 | 691 | | |
| Bogotá | Barranquilla | 360 | 382 | | | | |
| Bogotá | Cali | 200 | 212 | | | | |
| Bogotá | Medellín | 160 | 171 | | | | |
| Barranquilla | Barranquilla | | | 320 | 333 | | |
| Cali | Bogotá | | | | | 960 | 1,027 |
| Cali | Barranquilla | | | | | 760 | 798 |
| Cali | Cali | | | 240 | 247 | 680 | 700 |
| Cali | Medellín | | | | | 640 | 666 |
| Medellín | Medellín | | | 240 | 252 | | |

Fuente: Elaboración propia del autor

4.4.2 Resultados aumento medio en la demanda

Con esta variación en la demanda se obtiene un valor óptimo de \$35.312.693, si se compara este valor con el óptimo obtenido en el modelo inicial se presenta un aumento de \$6.536.973, de la misma manera se presenta un aumento de los productos a enviar desde cada planta a los centros de distribución por el efecto del incremento de la demanda, las capacidades de producción de las plantas no se ven afectadas por lo tanto pueden responder de manera eficiente a los aumentos que se presentan en las demandas de los tres productos. En la Tabla 24 se describe la cantidad de producto a enviar desde cada a planta a los centros de distribución.

Tabla 24. Cantidad de producto por planta a centros de distribución con aumento medio de la demanda

| | | Producto y cantidad a trasladar | | | | | |
|-------------------------|---------------------------|--|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| | | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | | TB ACU 4 UM RDE51 6M | | TB BIAx 8 6M PR160 | |
| Planta de producción | Centro de distribución | Cantidad modelo | Cantidad con variación | Cantidad modelo | Cantidad con variación | Cantidad modelo | Cantidad con variación |
| | | inicial | de la demanda | inicial | de la demanda | inicial | de la demanda |
| Bogotá | Bogotá | 1,160 | 1,391 | | | | |
| Guachene | Cali | | | | | 3,040 | 3,717 |
| Barranquilla | Bogotá | | | 640 | 800 | | |
| Barranquilla | Barranquilla | | | 320 | 352 | | |
| Barranquilla | Cali | | | 240 | 293 | | |
| Barranquilla | Medellín | | | 240 | 283 | | |

Fuente: Elaboración propia del autor

En la cantidad a enviar desde los centros de distribución a los clientes se presenta un comportamiento similar ya a que se presenta un aumento en el número de unidades a despachar, esta situación es coherente con el aumento de la demanda en los productos. En la tabla 25 se muestra la cantidad de producto a enviar desde los centros de distribución a los clientes con aumento medio en la demanda.

Tabla 25. Producto a enviar de centros de distribución a clientes con aumento medio de demanda

| Producto y cantidad a despachar | | | | | | | |
|--|---------------------------|--|---|--------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Centro de distribución | Ciudad a despachar | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | | TB ACU 4 UM RDE51 6M | | TB BIAX 8 6M PR160 | |
| | | Cantidad modelo inicial | Cantidad con variación de la demanda | Cantidad modelo inicial | Cantidad con variación de la demanda | Cantidad modelo inicial | Cantidad con variación de la demanda |
| Bogotá | Bogotá | 440 | 519 | 640 | 800 | | |
| Bogotá | Barranquilla | 360 | 432 | | | | |
| Bogotá | Cali | 200 | 232 | | | | |
| Bogotá | Medellín | 160 | 208 | | | | |
| Barranquilla | Barranquilla | | | 320 | 352 | | |
| Cali | Bogotá | | | | | 960 | 1,152 |
| Cali | Barranquilla | | | | | 760 | 988 |
| Cali | Cali | | | 240 | 293 | 680 | 809 |
| Cali | Medellín | | | | | 640 | 768 |
| Medellín | Medellín | | | 240 | 283 | | |

Fuente: Elaboración propia del autor

4.4.3 Resultados aumento significativo en la demanda producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M

Con esta variación en la demanda se obtiene un valor óptimo de \$31.510.010, si se compara este valor con el óptimo obtenido en el modelo inicial se presenta un aumento de \$2.734.290, de la misma manera se presenta un aumento en la cantidad del producto a enviar desde la planta de Bogotá donde se fabrica esta referencia por el efecto del incremento de la demanda, la capacidades de producción de las plantas no se ven afectadas por lo tanto pueden responder de manera eficiente a los aumentos que se presentan en las demandas de los tres productos. En la Tabla 26 se describe la cantidad de producto a enviar desde cada a planta a los centros de distribución.

Tabla 26. Cantidad a enviar de la planta Bogotá a centros de distribución del producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M con aumento significativo en su demanda

| Producto y cantidad a trasladar | | | | | | |
|--|-----------------------------------|------------------------|----------------------|------------------|--------------------|------------------|
| Centro de distribución | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | | TB ACU 4 UM RDE51 6M | | TB BIAX 8 6M PR160 | |
| | Cantidad modelo | Cantidad con variación | Cantidad modelo | No hay variación | Cantidad modelo | No hay variación |
| | inicial | de la demanda | Inicial | de la demanda | inicial | de la demanda |
| Bogotá | 1,160 | 1,926 | | | | |
| Cali | | | | | 3,040 | 3,040 |
| Bogotá | | | 640 | 640 | | |
| Barranquilla | | | 320 | 320 | | |
| Cali | | | 240 | 240 | | |
| Medellín | | | 240 | 240 | | |

Fuente: Elaboración propia del autor

La cantidad a enviar del producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M desde los centros de distribución a los clientes se presenta un comportamiento similar ya a que se presenta un aumento en el número de unidades a despachar, esta situación es coherente con el aumento de la demanda del producto. En la Tabla 27 se muestra la cantidad a despachar desde los centros de distribución con el aumento en la demanda del producto.

Tabla 27. Producto a enviar de centros de distribución a clientes con aumento significativo en la demanda del producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M

| | | Producto y cantidad a despachar | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|--|---|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Centro de distribución | Ciudad a despachar | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | | TB ACU 4 UM RDE51 6M | | TB BIAX 8 6M PR160 | |
| | | Cantidad modelo inicial | Cantidad con variación de la demanda | Cantidad modelo inicial | No hay variación de la demanda | Cantidad modelo inicial | No hay variación de la demanda |
| Bogotá | Bogotá | 440 | 748 | 640 | 640 | | |
| Bogotá | Barranquilla | 360 | 594 | | | | |
| Bogotá | Cali | 200 | 320 | | | | |
| Bogotá | Medellín | 160 | 264 | | | | |
| Barranquilla | Barranquilla | | | 320 | 320 | | |
| Cali | Bogotá | | | | | 960 | 960 |
| Cali | Barranquilla | | | | | 760 | 760 |
| Cali | Cali | | | 240 | 240 | 680 | 680 |
| Cali | Medellín | | | | | 640 | 640 |
| Medellín | Medellín | | | 240 | 240 | | |

Fuente: Elaboración propia del autor

En la Tabla 28 se muestra el comparativo de los valores óptimos con cada de las variaciones de las demandas bajos los diferentes escenarios.

Tabla 28. Comparativo de valores óptimos según demanda

| | Demanda | Incremento bajo | Incremento medio | Incremento alto en demanda |
|--------------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|--|
| | Inicial | de demanda | en la demanda | del producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M |
| Valor óptimo encontrado | \$ 28,775,720 | \$ 30,345,943 | \$ 35,312,693 | \$ 31,510,010 |

Fuente: Elaboración propia del autor

4.4.4 Resultados variación media de capacidad de producción

Con estas reducciones en las capacidades de las plantas de producción se obtiene un valor óptimo de \$28.775.720, en el modelo inicial se obtuvo este mismo valor. En la Tabla 29 se describe la cantidad de producto a enviar desde cada planta donde se fabrican los productos.

Tabla 29. Cantidad de producto a trasladar de cada planta a centro de distribución con variación media de capacidad de producción

| | | Producto y cantidad a trasladar | | | | | |
|----------------------|------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | | TB ACU 4 UM RDE51 6M | | TB BIAX 8 6M PR160 | |
| Planta de producción | Centro de distribución | Cantidad Modelo | Cantidad con disminución en capacidad | Cantidad modelo | Cantidad con disminución en capacidad | Cantidad modelo | Cantidad con disminución en capacidad |
| | | Inicial | | inicial | | inicial | |
| Bogotá | Bogotá | 1,160 | 1,160 | | | | |
| Guachene | Cali | | | | | 3,040 | 3,040 |
| Barranquilla | Bogotá | | | 640 | 640 | | |
| Barranquilla | Barranquilla | | | 320 | 320 | | |
| Barranquilla | Cali | | | 240 | 240 | | |
| Barranquilla | Medellín | | | 240 | 240 | | |

Fuente: Elaboración propia del autor

Con estas reducciones en las capacidades de las plantas de producción no se presenta variación en la cantidad de producto que se debe enviar desde las plantas a los centros de distribución tal como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30 Cantidad de producto a despachar de cada centro de distribución a los clientes con disminución media de capacidad de producción.

| | | Producto y cantidad a despachar | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|--|--|--------------------------------|--|--------------------------------|--|
| Centro de distribución | Ciudad a despachar | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | | TB ACU 4 UM RDE51 6M | | TB BIA X 8 6M PR160 | |
| | | Cantidad Modelo Inicial | Cantidad con disminución en capacidad | Cantidad modelo inicial | Cantidad con disminución en capacidad | Cantidad modelo inicial | Cantidad con disminución en capacidad |
| Bogotá | Bogotá | 440 | 440 | 640 | 640 | | |
| Bogotá | Barranquilla | 360 | 360 | | | | |
| Bogotá | Cali | 200 | 200 | | | | |
| Bogotá | Medellín | 160 | 160 | | | | |
| Barranquilla | Barranquilla | | | 320 | 320 | | |
| Cali | Bogotá | | | | | 960 | 960 |
| Cali | Barranquilla | | | | | 760 | 760 |
| Cali | Cali | | | 240 | 240 | 680 | 680 |
| Cali | Medellín | | | | | 640 | 640 |
| Medellín | Medellín | | | 240 | 240 | | |

Fuente: Elaboración propia del autor

4.4.5 Resultados reducción total de la capacidad de producción planta Barranquilla

Con esta variación en la capacidad de producción el modelo pasa de tener una solución óptima (óptimo de \$28.775.720) a ser un caso infactible; esto se debe a que el modelo está diseñado para cumplir con la demanda de los clientes, por lo tanto, al cerrar la planta de barranquilla se deja de producir el producto “TB ACU 4 UM RDE51 6M” el cual es demandado por los centros de distribución. Cuando no se tiene existencia de productos la restricción relacionada al cumplimiento de demanda se viola, es decir, el escenario en el que cierra la planta inválida el supuesto en el que la demanda de los clientes se debe cumplir, por lo cual se concluye que bajo este escenario el modelo propuesto no genera una solución factible. En la Tabla 31 se muestra la cantidad de producto a enviar desde las plantas a centros de distribución con la reducción total de la capacidad de la planta Barranquilla.

4.4.6 Resultados reducción significativa de la capacidad de producción de las tres plantas

Con esta variación en la capacidad de producción se pasa de tener un óptimo de \$28.775.720 a un óptimo de \$18.809.407. En la Tabla 31 se describe la cantidad de producto a enviar desde la planta de Bogotá donde se fabrica este producto.

Tabla 31. Reducción significativa de la capacidad de producción de las tres plantas

| | | Producto y cantidad a trasladar | | | | | |
|-------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|
| | | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | | TB ACU 4 UM RDE51 6M | | TB BIAx 8 6M PR160 | |
| Planta de producción | Centro de distribución | Cantidad modelo | Cantidad con disminución | Cantidad modelo | Cantidad con disminución | Cantidad modelo | Cantidad con disminución |
| | | inicial | en capacidad | inicial | en capacidad | inicial | en capacidad |
| Bogotá | Bogotá | 1,160 | 1,160 | | | | |
| Guachene | Cali | | | | | 3,040 | 1,512 |
| Barranquilla | Bogotá | | | 640 | 0.0 | | |
| Barranquilla | Barranquilla | | | 320 | 0.0 | | |
| Barranquilla | Cali | | | 240 | 0.0 | | |
| Barranquilla | Medellín | | | 240 | 0.0 | | |

Fuente: Elaboración propia del autor

Las capacidades de las plantas de Bogotá y Barranquilla aunque tienen una gran baja en su capacidad de producción no tienen problema en suplir las demandas de los clientes toda vez que su capacidad de producción aún sigue siendo mayor que la demanda, caso contrario para en la planta de producción de Guachene donde la reducción en la capacidad de producción si afecta la cantidad de producto a enviar a los centros de distribución y por lo tanto no es posible suplir las demandas de los clientes. En la tabla 32 se ilustra las cantidades a enviar desde los centros de distribución a los clientes en cada ciudad con la disminución de la capacidad de producción de las tres plantas.

Tabla 32 Cantidad de producto a despachar de cada centro de distribución a los clientes con disminución significativa de la capacidad de producción de las tres plantas

| | | Producto y cantidad a despachar | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|--|--|--------------------------------|--|--------------------------------|--|
| | | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | | TB ACU 4 UM RDE51 6M | | TB BIA X 8 6M PR160 | |
| Centro de distribución | Ciudad a despachar | Cantidad modelo inicial | Cantidad con disminución en capacidad | Cantidad modelo inicial | Cantidad con disminución en capacidad | Cantidad modelo inicial | Cantidad con disminución en capacidad |
| Bogotá | Bogotá | 440 | 440 | 640 | 640 | | |
| Bogotá | Barranquilla | 360 | 360 | | | | |
| Bogotá | Cali | 200 | 200 | | | | |
| Bogotá | Medellín | 160 | 160 | | | | |
| Barranquilla | Barranquilla | | | 320 | 320 | | |
| Cali | Bogotá | | | | | 960 | 477 |
| Cali | Barranquilla | | | | | 760 | 378 |
| Cali | Cali | | | 240 | 240 | 680 | 338 |
| Cali | Medellín | | | | | 640 | 319 |
| Medellín | Medellín | | | 240 | 240 | | |

Fuente: Elaboración propia del autor

En la tabla 33 se muestra el comparativo de los valores óptimos con cada de las variaciones de las capacidades de producción de las plantas bajos los diferentes escenarios.

Tabla 33 Comparativos valores óptimos con variación de producción

| Comparativo valores óptimos según variación de capacidades de producción | | | | |
|---|--------------------------|---|--|--|
| | Capacidad inicial | Disminución de las capacidades de producción | Disminución del 100% de las capacidades planta Barranquilla | Disminución alta de las capacidades de producción |
| Valor óptimo encontrado | \$ 28,775,720 | \$ 28,775,720 | No es Factible | \$ 18,809,407 |

Fuente: Elaboración propia del autor

4.5. Segunda sección transporte secundario

4.5.1 Ambiente computacional transporte secundario

Para la creación del modelo de transporte y VRPMDTW el cual fue planteado para el transporte secundario se utilizó lenguaje de modelo GAMS, los experimentos se ejecutaron en el mismo equipo utilizado para el modelo de transporte primario cuyas características ya fueron descritas.

De la misma manera cuando se ejecutó el modelo se realizó de manera única para que el equipo de cómputo utilizara toda su capacidad.

4.6 Resultados obtenidos transporte secundario

El modelo se generó de manera adecuada y encontró un valor óptimo de 0,8446, el tiempo de ejecución fue de 6,640 segundos y calcula el nivel de utilización de la capacidad de los vehículos que son despachados desde los centros de distribución a los clientes. La interpretación del valor óptimo que arroja el sistema es interpretado como que la utilización de la capacidad de los vehículos fue del 84,46%. Este porcentaje de utilización en la realidad sería muy bueno ya que por las características de los productos de la compañía pocas veces se utiliza la capacidad al 100%

Dado que el modelo arroja gran cantidad de datos en los resultados, se ha tomado una muestra de cinco despachos a los cuales se les hará una descripción completa de los resultados arrojados por el modelo tal como se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34. Resultados arrojados por el sistema transporte secundario

| Centro de distribución origen despacho | Cliente a entregar | Ciudad de entrega | Ventana horaria cliente | Hora llegada vehículo a cliente | Centro de distribución al que retorna el vehículo |
|--|--------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------------|---|
| Bogotá | Ferretería CHM SAS | Quibdó Choco | 8:00 a.m. - 5:00 p.m. | 10:00 a. m. | Centro distribución Bogotá |
| Barranquilla | Ferretería CHM SAS | Quibdó Choco | 8:00 a.m. - 5:00 p.m. | 04:00 p. m. | Centro distribución Barranquilla |
| Cali | Furel SA | Medellín | 8:00 a.m. - 5:00 p.m. | 08:00 a. m. | Centro distribución Cali |
| Medellín | Furel SA | Medellín | 8:00 a.m. - 5:00 p.m. | 08:00 a. m. | Centro distribución Medellín |
| Medellín | Ferretería CHM SAS | Quibdó Choco | 8:00 a.m. - 5:00 p.m. | 08:00 a. m. | Centro distribución Medellín |

Fuente: Elaboración propia del autor

Lo que está realizando el modelo es una asignación de despachos desde un centro de distribución a un cliente teniendo en cuenta las ventanas horarias de este, muestra la hora de llegada al cliente la cual debe estar dentro de la ventana horaria, una vez el vehículo realiza la entrega el modelo le indica regresar al sitio de origen.

4.7 Indicadores modelo transporte secundario

Dado los resultados del modelo y como soporte para medición de desempeño del mismo se debe establecer como indicadores de gestión el costo de transporte secundario sobre las ventas, costo de kilo transportado en pesos y en dólares, *On time*, *In Full* y por defecto el OTIF (*On Time In Full*). Estos indicadores no solo evalúan el desempeño económico que reflejen ahorros de transporte sino que también se mide los niveles de servicio al cliente que dependen directamente de la entrega.

4.8 Resultados análisis de sensibilización del modelo para transporte secundario

4.8.1 Resultados alta demanda del producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M

Con esta variación en la demanda se obtiene un valor óptimo de 0,8872, es decir que la utilización de la capacidad de los vehículos fue del 88,72%, si se compara este valor con el óptimo obtenido en el modelo inicial se presenta un aumento del 4,26 puntos porcentuales en la utilización de la capacidad de los vehículos, esta es una situación lógica ya que al aumentar la demanda aumenta el número de productos cargados en los vehículos logrando así una mayor utilización de la capacidad de los mismos.

4.8.2 Resultados reducción total de la capacidad de producción planta Barranquilla

Dado que en el modelo de transporte primario cuando se reduce la capacidad total de la planta Barranquilla la solución es no factible no se tendrían datos para ingresar al modelo de transporte secundario, por ende este escenario de sensibilización no sería posible realizarlo.

4.9 Validación de resultados obtenidos con la realidad de la empresa

4.9.1 Validación transporte primario

Tal como se describió en el capítulo 3 desde las plantas a los centros de distribución se envían las cantidades de producto que se requieren para atender las demandas de sus clientes, con la ejecución del modelo en GAMS se obtiene un resultado diferente pues este propone que algunos productos no sean enviados a los centros de distribución tal como se realiza en la actualidad, se presenta el caso del producto TB BIAX 8 6M PR160 el cual el modelo propone que el total de la demanda sea enviado de la planta Guachene al centro de distribución de Cali, el mismo caso se presenta para el producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5, el modelo propone que sea enviada la totalidad de la demanda al centro de distribución de Bogotá, caso diferente se presenta para el producto TB ACU 4 UM RDE51 6M ya que el modelo coincide que se deben enviar de la planta Barranquilla a los centros de distribución las mismas cantidades tal como se están realizando el día de hoy. En la Tabla 35 se muestra el comparativo de las cantidades que se envían en la actualidad y las propuestas por el modelo.

Tabla 35 Cantidades enviadas actualmente de plantas a centros de distribución frente a las propuestas por el modelo.

| Centro de distribución | Planta Guachene TB BIAX 8 6M PR160 | | Planta Bogotá TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M | | Planta Barranquilla TB ACU 4 UM RDE51 6M | |
|------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|---|----------------------------------|
| | Cantidad enviada actualmente | Cantidad propuesta por el modelo | Cantidad enviada actualmente | Cantidad propuesta por el modelo | Cantidad enviada actualmente | Cantidad propuesta por el modelo |
| Bogotá | 960 | 0 | 440 | 1,160 | 640 | 640 |
| Medellín | 640 | 0 | 160 | 0 | 240 | 240 |
| Barranquilla | 760 | 0 | 360 | 0 | 320 | 320 |
| Cali | 680 | 3,040 | 200 | 0 | 240 | 240 |

Fuente: Elaboración propia del autor

Este comparativo y las diferencias entre lo que se maneja en la actualidad frente a las que propone el modelo muestra que en efecto se puede realizar el transporte primario de una manera diferente con el fin optimizar esta gestión.

En la Tabla 36 se realiza un comparativo de costos del modelo actual versus el sugerido por el sistema en la planta de Guachene.

Tabla 36 Cantidades enviadas actualmente de plantas a centros de distribución frente a las propuestas por el modelo planta Guachene

Planta Guachene TB BIAX 8 6M PR160

| Centro distribución | Despacho actual | Unidades por vehículo | Cantidad de viajes | Valor flete por viaje | Total flete | Cantidad propuesta por el modelo | Cantidad de viajes | Total flete |
|---------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|---------------|----------------------------------|--------------------|--------------|
| Bogotá | 960 | 130 | 7 | \$ 1,100,000 | \$ 8,123,077 | 0 | 0 | \$ 0 |
| Medellín | 640 | 130 | 5 | \$ 900,000 | \$ 4,430,769 | 0 | 0 | \$ 0 |
| Barranquilla | 760 | 130 | 6 | \$ 1,600,000 | \$ 9,353,846 | 0 | 0 | \$ 0 |
| Cali | 680 | 130 | 5 | \$ 350,000 | \$ 1,830,769 | 3,040 | 23 | \$ 8,184,615 |
| Totales | 3040 | | 23 | | \$ 23,738,462 | | | \$ 8,184,615 |

Fuente: Elaboración propia del autor

En este comparativo se puede observar que hay una diferencia en el costo entre la forma como se maneja el abastecimiento actualmente en Mexichem Colombia SAS y lo planteado por el modelo, esta diferencia es de \$15.553.846, se debe tener en cuenta que esto es solo transporte de Planta a centro de distribución, por lo tanto estaría pendiente el costo de la entrega al cliente, para esto vamos a suponer dos escenarios para ver cómo se comporta el modelo frente a la realidad.

Ya se tiene estimado el costo de enviar desde la planta de Guachene a los diferentes centros de distribución el cual suma \$23.738.462, en la Tabla 37 se muestra el costo de realizar las entregas a clientes desde los centros de distribución asumiendo el modelo actual que maneja la compañía, para este cálculo se asume para efectos del comparativo que las entregas son locales.

Tabla 37 Costo de realizar las entregas a clientes desde los centros de distribución con el modelo actual planta Guachene

| Costo simulacion entregas locales | | | | | | |
|--|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|
| Centro de distribución | Ciudad entrega cliente | Cantidad demanda | Unidades por vehículo | Cantidad de viajes | Valor flete por viaje | Total flete |
| Bogotá | Bogotá | 960 | 130 | 7 | \$ 275,000 | \$ 2,030,769 |
| Medellín | Medellín | 640 | 130 | 5 | \$ 280,000 | \$ 1,378,462 |
| Barranquilla | Barranquilla | 760 | 130 | 6 | \$ 220,000 | \$ 1,286,154 |
| Cali | Cali | 680 | 130 | 5 | \$ 280,000 | \$ 1,464,615 |
| Totales | | 3040 | | 23 | | \$ 6,160,000 |

Fuente: Elaboración propia del autor

Con el modelo actual de abastecimiento en total el costo de enviar desde la planta de Guachene a los centros de distribución más la entrega a los clientes es de \$29.898.462.

Los resultados que arroja el modelo programado en GAMS es enviar todo el producto demandado al centro de distribución en Cali y esto tiene un costo de \$8.184.615, para efecto de tener un comparativo coherente se asume que desde este centro de distribución se hacen las entregas a los clientes de las ciudades de Bogotá, Medellín, Barranquilla y entregas locales en Cali. En la Tabla 38 se muestra el costo que tendría realizar estas entregas.

Tabla 38 Costo de realizar las entregas a clientes desde el centro de distribución de Cali

Costo simulación entregas clientes origen Cali

| Centro de distribución | Ciudad entrega cliente | Cantidad demanda | Unidades por vehículo | Cantidad de viajes | Valor flete por viaje | Total flete |
|------------------------|------------------------|------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|---------------|
| Cali | Bogotá | 960 | 130 | 7 | \$ 830,000 | \$ 6,129,231 |
| Cali | Medellín | 640 | 130 | 5 | \$ 830,000 | \$ 4,086,154 |
| Cali | Barranquilla | 760 | 130 | 6 | \$ 1,600,000 | \$ 9,353,846 |
| Cali | Cali | 680 | 130 | 5 | \$ 280,000 | \$ 1,464,615 |
| Totales | | 3,040 | | 23 | | \$ 21,033,846 |

Fuente: Elaboración propia del autor

Con este modelo en total el costo de enviar desde la planta de Guachene al centro de distribución de Cali y de este directamente a los clientes es de \$29.218.462, si comparamos este resultado con el obtenido con el sistema actual de abastecimiento en Mexichem Colombia tenemos un ahorro de \$680.000.

Para el caso de la planta de Bogotá y realizando el mismo comparativo que la planta de Guachene tenemos los siguientes resultados.

En la Tabla 39 se realiza un comparativo de costos del modelo actual versus el sugerido por el sistema en la planta Bogotá.

Tabla 39 Cantidades enviadas actualmente de plantas a centros de distribución frente a las propuestas por el modelo en la planta Bogotá

Planta Bogotá TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M

| Centro distribución | Despacho actual | Unidades por vehículo | Cantidad de viajes | Valor flete por viaje | Total flete | Cantidad propuesta por el modelo | Cantidad de viajes | Total flete |
|---------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|---------------|----------------------------------|--------------------|-------------|
| Bogotá | 440 | 12 | 37 | \$ 0 | \$ 0 | 1160 | 97 | \$ 0 |
| Medellín | 160 | 12 | 13 | \$ 1,100,000 | \$ 14,666,667 | 0 | 0 | \$ 0 |
| Barranquilla | 360 | 12 | 30 | \$ 1,430,000 | \$ 42,900,000 | 0 | 0 | \$ 0 |
| Cali | 200 | 12 | 17 | \$ 830,000 | \$ 13,833,333 | 0 | 0 | \$ 0 |
| Totales | | 1160 | 97 | | \$ 71,400,000 | | | \$ 0 |

Fuente: Elaboración propia del autor

En este caso la diferencia del costo entre el modelo actual en la compañía y el arrojado por el modelo programado en GAMS es de \$71.400.000.

Ya se tiene estimado el costo de enviar desde la planta de Bogotá a los diferentes centros de distribución el cual suma \$71.400.000, en la Tabla 40 se muestra el costo de realizar las entregas a clientes desde los centros de distribución asumiendo el modelo actual que maneja la compañía, para este cálculo se asume para efectos del comparativo que las entregas son locales.

Tabla 40 Costo de realizar las entregas a clientes desde los centros de distribución con el modelo actual planta Bogotá

| Costo simulacion entregas locales abastecimiento planta Bogotá | | | | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|
| Centro de distribución | Ciudad entrega cliente | Cantidad demanda | Unidades por vehículo | Cantidad de viajes | Valor flete por viaje | Total flete |
| Bogotá | Bogotá | 440 | 12 | 37 | \$ 275,000 | \$ 10,083,333 |
| Medellín | Medellín | 160 | 12 | 13 | \$ 280,000 | \$ 3,733,333 |
| Barranquilla | Barranquilla | 360 | 12 | 30 | \$ 220,000 | \$ 6,600,000 |
| Cali | Cali | 200 | 12 | 17 | \$ 280,000 | \$ 4,666,667 |
| Totales | | 1,160 | | 97 | | \$ 25,083,333 |

Fuente: Elaboración propia del autor

Con el modelo actual de abastecimiento en total el costo de enviar desde la planta de Bogotá a los centros de distribución más la entrega a los clientes es de \$96.483.333.

Los resultados que arroja el modelo programado en GAMS es enviar todo el producto demandado al centro de distribución de Bogotá y esto tiene un costo de \$0, para efecto de tener un comparativo coherente se asume que desde este centro de distribución se hacen las entregas a los clientes de las ciudades de Medellín, Cali, Barranquilla y entregas locales en Bogotá. En la Tabla 41 se muestra el costo que tendría realizar estas entregas.

Tabla 41 Costo de realizar las entregas a clientes desde el centro de distribución de Cali

| Costo simulacion entregas clientes origen Bogotá | | | | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|
| Centro de distribución | Ciudad entrega cliente | Cantidad demanda | Unidades por vehículo | Cantidad de viajes | Valor flete por viaje | Total flete |
| Bogotá | Bogotá | 440 | 12 | 37 | \$ 275,000 | \$ 10,083,333 |
| Bogotá | Medellín | 160 | 12 | 13 | \$ 1,100,000 | \$ 14,666,667 |
| Bogotá | Barranquilla | 360 | 12 | 30 | \$ 1,430,000 | \$ 42,900,000 |
| Bogotá | Cali | 200 | 12 | 17 | \$ 830,000 | \$ 13,833,333 |
| Totales | | 1,160 | | 97 | | \$ 81,483,333 |

Fuente: Elaboración propia del autor

Con este modelo en total el costo de enviar desde la planta de Bogotá al centro de distribución de esta misma ciudad y de este directamente a los clientes es de \$81.493.333, si comparamos este resultado con el obtenido con el sistema actual de abastecimiento en Mexichem Colombia tenemos un ahorro de \$15.000.000.

Para el caso de la planta de Barranquilla el resultado del modelo en GAMS arroja los mismos resultados que el modelo que se maneja actualmente en la compañía, por lo tanto, no tiene ahorros.

Es de anotar que el modelo propuesto tiene unos ahorros importantes frente al modelo que se maneja actualmente en la compañía, pero tiene una desventaja y es que al concentrar todo el producto de las plantas de Guachene y Bogotá en un solo centro de distribución se corre el riesgo de no cubrir una necesidad urgente que tenga un cliente en otra ciudad como por ejemplo Barranquilla o Medellín ocasionando un problema de servicio.

4.9.2 Validación transporte secundario

En el capítulo 3 se detalla cómo es el proceso de despachos desde los centros de distribución a los clientes, una de las falencias que hoy se tiene en el área de transportes de Mexichem Colombia es que la programación de estos despachos se realiza de forma manual en un archivo de Excel como se muestra en la Figura 7.

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|-----------------------------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|------|-----------------------------|----------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Fecha y Hora Solicitud (ctrl+o)NK | Destino 1 | Destino 2 | Destino 3 | No. Clientes | Peso | Tipo Vehículo (desplegable) | Observaciones | Grupo TUBERIA | Grupo CONEXIC ONE | FLETE SEGÚN TABLA |
| 01-jun-2014 10:01 | TADO | | | 1 | 3700 | S - Sencillo | | | 316113 | \$ 1,670,000 |
| 01-jun-2014 10:02 | POTOSI (NARIÑO) | | | 1 | 3000 | S - Sencillo | | | 316114 | \$ 1,400,000 |
| 01-jun-2014 11:25 | BUCARAMANGA | | | 1 | 3400 | S - Sencillo | | | 316121 | \$ 1,100,000 |
| 01-jun-2014 11:26 | BUCARAMANGA | | | 1 | 4600 | S - Sencillo | | | 316122 | \$ 1,100,000 |
| 03-jun-2014 07:50 | BUCARAMANGA | | SODIMAC | 1 | 3200 | S - Sencillo | cita jueves 07:00 am | | | \$ 1,100,000 |
| 03-jun-2014 08:25 | POTOSI (NARIÑO) | | | 1 | 2000 | S - Sencillo | | 316186 | | \$ 1,400,000 |
| 03-jun-2014 09:07 | POPAYAN | | | 1 | 4000 | S - Sencillo | | 316187 | | \$ 1,100,000 |
| 03-jun-2014 09:08 | TUNJA | | | 2 | 1000 | S - Sencillo | | 316189 | | \$ 470,000 |
| 03-jun-2014 09:28 | DUITAMA | | | 1 | 630 | S - Sencillo | | 316190 | | \$ 530,000 |
| 03-jun-2014 09:46 | DUITAMA | | | 1 | 310 | S - Sencillo | | 316191 | | \$ 530,000 |
| 03-jun-2014 09:47 | DUITAMA | | | 1 | 330 | S - Sencillo | | 316192 | | \$ 530,000 |
| 03-jun-2014 09:56 | ARMENIA | TADO | | 2 | 3800 | S - Sencillo | | 316197 | | \$ 1,837,000 |
| 03-jun-2014 09:59 | NEIVA | | | 4 | 3400 | S - Sencillo | | 316201 | | \$ 803,000 |
| 03-jun-2014 10:01 | SAN GIL | BUCARAMANGA | | 3 | 3700 | S - Sencillo | | | 316204 | \$ 1,210,000 |
| 03-jun-2014 10:02 | ITAGUI | | ETERNIT-PSA | 1 | 4000 | S - Sencillo | | 316208 | | \$ 1,050,000 |
| 03-jun-2014 10:03 | IPIALES | | ETERNIT | 1 | 1500 | S - Sencillo | | 316210 | | \$ 1,400,000 |
| 03-jun-2014 10:04 | IPIALES | | ETERNIT | 1 | 1500 | S - Sencillo | | 316211 | | \$ 1,400,000 |
| 03-jun-2014 10:05 | IPIALES | | ETERNIT | 1 | 1500 | S - Sencillo | | 316212 | | \$ 1,400,000 |
| 03-jun-2014 10:06 | MEDELLIN | SAN VICENTE | ETERNIT | 2 | 2600 | S - Sencillo | | 316213 | | \$ 1,200,000 |
| 03-jun-2014 10:07 | IPIALES | | ETERNIT | 1 | 1000 | S - Sencillo | | 316214 | | \$ 1,400,000 |
| 03-jun-2014 10:08 | IPIALES | | ETERNIT | 1 | 1000 | S - Sencillo | | 316215 | | \$ 1,400,000 |
| 03-jun-2014 10:09 | IPIALES | | ETERNIT | 1 | 1000 | S - Sencillo | | 316216 | | \$ 1,400,000 |
| 03-jun-2014 10:10 | IPIALES | | ETERNIT | 1 | 1000 | S - Sencillo | | 316217 | | \$ 1,400,000 |
| 03-jun-2014 10:11 | IPIALES | | ETERNIT | 1 | 1000 | S - Sencillo | | 316218 | | \$ 1,400,000 |
| 03-jun-2014 10:22 | IPIALES | | ETERNIT | 1 | 1000 | S - Sencillo | | 316219 | | \$ 1,400,000 |
| 03-jun-2014 10:13 | IPIALES | | ETERNIT | 1 | 1000 | S - Sencillo | | 316220 | | \$ 1,400,000 |
| 03-jun-2014 10:14 | IPIALES | | ETERNIT | 1 | 1000 | S - Sencillo | | 316222 | | \$ 1,400,000 |

Figura 7. Plantilla Excel programación transportes secundarios

Esta programación al ser manual está sujeta al criterio de la persona encargada de realizar esta tarea, por lo tanto la optimización del transporte secundario no tiene un fundamento analítico o matemático, por ende tanto el diseño de un modelo para este tipo de transportes que optimice esta gestión cobra relevancia y queda demostrado en los resultados del modelo una vez se corre en GAMS, pues como se evidenció en el capítulo 3 el sistema siempre busca una mayor utilización de la capacidad de los vehículos, traza una ruta lógica a seguir de acuerdo con las ventanas horarias cliente, es decir que el sistema realiza cálculos matemáticos por lo que se introduce ciencia al proceso haciendo que los resultados sean mejores en un menor tiempo lo que representa otra ventaja del modelo.

En el siguiente capítulo se dan a conocer las conclusiones de los resultados que arrojan los modelos para ambos tipos de transporte, así como también se hará mención a las perspectivas de lo que queda pendiente como una oportunidad de trabajo a posterior.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En el capítulo anterior se llevó a cabo la validación numérica de los modelos para los transportes primarios y secundarios, en este capítulo se darán a conocer cuáles son las conclusiones de esas validaciones.

5.1 Conclusiones

5.2 Modelo transporte primario

En la ejecución del modelo en GAMS este arroja un valor óptimo de \$28.775.720 y deja ver una diferencia en las cantidades que se deben de trasladar de las plantas de Guachene y Bogotá frente a las que se manejan actualmente, el modelo propone que los productos que se fabrican en Guachene sean trasladados solo al centro de distribución de Cali y los productos que se fabrican en Bogotá sean trasladados en su totalidad al centro de distribución de esta misma ciudad que como se describió en el capítulo 4 está en el mismo espacio físico de la planta, de forma contraria los productos que se fabrican en la planta de Barranquilla deben ser trasladados en la misma cantidad como se efectúa actualmente.

El planteamiento que hace el modelo es lógico toda vez que planea que los productos que se fabrican en la planta de Bogotá sean pasados al centro de distribución de esta ciudad ya que de esta manera no genera gasto de transporte pues estando ambos están en el mismo espacio físico, al no trasladar producto a los demás centros de distribución lo que se hace es que se genera un ahorro en gasto de fletes y deja la gestión de atender de la demanda local y nacional solo desde el centro de distribución de Bogotá, un caso parecido sucede con la planta de Guachene donde el modelo plantea que se debe trasladar todo el producto al centro de distribución de Cali, la distancia entre la planta y el centro de distribución es de una hora, esto significa que el costo del flete es más económico que enviar producto al resto de los centros de distribución, y tal como pasa en Bogotá el centro de distribución de Cali debe atender toda la demanda local y nacional de producto.

El caso de Barraquilla es diferente y puede tener su explicación en que el producto seleccionado de esta planta es de un diámetro inferior que los producidos en las otras plantas, es decir que se requiere más producto para el llenado de un vehículo dificultando que se atienda toda la demanda local y nacional como si lo hacen las otras dos plantas.

5.2.1 Sensibilización modelo transporte primario

5.2.2 Conclusiones escenario de aumento en las demandas

Cualquier compañía del sector industrial presenta aumentos en sus demandas que son generadas por diversos motivos, algunos calculados y otros imprevistos pero siempre se debe tener una estrategia para soportar estas variabilidades que presentan los mercados.

De los tres diferentes escenarios que se plantearon para el aumento de la demanda se puede concluir que cuando esta aumenta se incrementa también el valor óptimo encontrado por el modelo, esto se puede explicar ya que al aumentar los volúmenes a ser despachados se da una mayor consolidación de carga a transportar y hace que el modelo tenga mayores beneficios ya que reduce el valor del kilo transportado, además las capacidades que tienen las plantas soportan los aumentos de las demandas que se presentan, este es otro factor que ayuda a que el valor óptimo sea mayor cada vez que la demanda aumenta pues no se ve limitada por las capacidades de producción.

5.2.3 Conclusiones escenario de disminución en la capacidad de producción

Una planta de producción puede tener disminución de sus capacidades o paros completos de ellas, algunas pueden ser programadas como lo es el caso de los mantenimientos, otras disminuciones en las capacidades de las plantas pueden obedecer a factores externos a la compañía como la escases de las materias primas esenciales para el proceso productivo, en el primer caso tratándose de una actividad planeada se puede trazar un programa de producción con mayores volúmenes de lotes producidos a fin de contar con el suficiente inventario de producto terminado para que las

demandas de los clientes no se vean afectadas, para el segundo caso se verá afectada el cumplimiento de las demandas de los clientes lo que conlleva a un impacto financiero negativo.

Las capacidades de las tres plantas de producción son bastante robustas y esto permite que se puede tener alguna reducciones en las capacidades de producción sin afectar la demanda, sin embargo es claro que cuando esta disminución reduce las cantidades demandadas de inmediato se da un efecto negativo en el valor optimo encontrado por el sistema, esto obedece a que se reduce el volumen de carga a transportar afectando la consolidación de la misma y por defecto aumenta el costo del kilo transportado.

5.3 Modelo transporte secundario

En la ejecución del modelo en GAMS este arroja un valor óptimo de 0,8446 que significa que es utilizado el 84,46% de la capacidad de los vehículos, este modelo indica desde que centro de distribución se realiza el despacho, a que cliente, en que vehículo debe realizarlo, cual es la ruta a seguir y tiene en cuenta las ventanas horarias que tienen establecidas los clientes para el recibo de los productos, así mismo muestra cada cliente a qué horas fue visitado, por cual vehículo y desde que centro fue realizado el despacho. Si bien es cierto que el resultado del valor optimo no da como resultado el ciento por ciento de la capacidad de los vehículos, tiene su explicación en que los productos de Mexichem Colombia son más volumen que peso, es decir que pueden llegar a utilizar la capacidad de espacio del vehículo mas no utiliza toda la capacidad de peso que puede transportar por lo tanto la utilización de la capacidad es una mezcla de la relación peso volumen y de esta forma está estipulado en la función objetivo del modelo.

5.3.1 Conclusiones escenario de aumento en las demandas

Es sabido que en el transporte de carga hay un principio el cual se debe tener en cuenta cada que se pretenda tener unos menores costos de transporte, este principio radica en que entre más sea el volumen de carga a transportar más bajo será el costo del flete por tonelada, kilo o unidad trasportada, esto se pudo evidenciar cuando se sensibilizo el modelo con un aumento en la demanda del producto TB ALC NOVAFORT S4 600MM (24) 6.5M, al presentarse este aumento el valor

optimo encontrado por el modelo aumento en un 4,26 puntos porcentuales frente al modelo original, es decir que entre más carga se consolide mayor es el beneficio y esto lo demostró el modelo realizado para el transporte secundario.

5.3.2 Conclusiones escenario de disminución en la capacidad de producción

Cuando se tiene un paro en una planta de producción de inmediato genera un desabastecimiento en los centros de distribución y a su vez se ven afectados los cumplimientos en las demandas de los clientes; el modelo diseñado para el transporte secundario busca optimizar la utilización de los vehículos a cargar a través de una mayor consolidación de carga teniendo en cuenta la relación peso volumen, por lo tanto al presentarse un desabastecimiento de un producto fruto de una disminución parcial o total en la capacidad de una de las plantas de inmediato afecta la optimización de los transportes secundarios.

5.3 Conclusiones generales

En el trabajo que se ha realizado ha cumplido con los objetivos propuestos, se ha diseñado un modelo en dos etapas para solucionar el problema estudiado teniendo como base fundamental la información de los sistemas de distribución, modelo comercial y canales de distribución establecidos por Mexichem Colombia SAS para cada una de sus plantas y centros de distribución, estos modelos probaron que no solo se ajusta a la realidad sino que también se comportan de manera coherente frente a situaciones que se pueden presentar en cualquier empresa de actividad industrial como lo son los aumentos en las demandas y reducciones de capacidades de las plantas de producción.

Al comparar el desempeño y resultados de los modelos frente al proceso actual que se lleva a cabo en la compañía con respecto a la planificación de estos dos tipos de transporte se puede evidenciar las ventajas que estos ofrecen en términos de optimización ya que son basados en análisis matemáticos y no en experiencia adquiridas.

Como oportunidad de trabajo y como una extensión a este trabajo estaría incluir los transportes de exportaciones e importaciones, de esta manera se tendría todo el proceso de transportes que intervine actualmente en la compañía.

REFERENCIAS BIBIOLGRAFICAS

- Acevedo A. Cachay, O., Raffo, E., (2012). *El empleo de modelo metaheurísticos en la logística industrial. El caso del enrutamiento de vehículos. Revista de la facultad de ingeniería industrial 15 (1): 70-79.*
- Beges, L., Galar, D., Lambán, M., Royo, J., Valencia, J. (2013). *Modelo para el cálculo de costos de almacenamiento de un producto: Caso de estudio en un entorno logístico. Dyna, 179:23-32*
- Bernal, J., Martínez, M., Sánchez, J. (2005). *Optimización con modelos de red en hoja de cálculo. Universidad de Cartagena.*
- Borra, C., Palma, L. (2005). *El análisis de la demanda de transporte de mercancías: Revisión metodológica del estado de la cuestión y resultado empíricos. Cuadernos de CC.EE Y EE, 48:61-82*
- Bravo, J., Orjuela, J. Osorio, J. (2007). *Administración de recursos de distribución: Indicadores para la priorización en transporte Estudio Gerenciales, 23: 101-118.*
- Colmenares, D. (2002). *Implementación de una heurística para el problema de planeación de rutas con ventana de tiempo en sistemas de distribución.*
- Cruz, E., Medina, P., Restrepo, J. (2007). *Un problema logístico de ruteo de vehículos y una solución con Solver de Excel: Un caso de Estudio. Scientia et Technica, 37*
- Daza, J., Montoya, J., Narducci, F. (2009). *Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases. Revista EIA, 12: 23-38.*
- Delgado, C., Pacheco, J. (2000). *Diseño de metaheurísticos para problemas de rutas con flota heterogénea: Concentración heurística. Universidad de Burgos, 14: 137-151.*
- Gallego, M., Gómez A, Argüelles Da., García N. (2007). *Desarrollo de un método híbrido para la resolución del MDVRP. Revista de la Escuela Jacobea de posgrado, 5: 45-64*
- García, B., Martínez, D. (2005). *Optimización con modelos de red en hojas de Cálculo. Universidad Politécnica de Cartagena*
- García, M. (2007). *Optimización de rutas en una empresa de distribución de mercancías. Universidad de Castilla, International Conference on Industrial Engineering & Industrial Management - CIO*

- González, F., González, G. (2006). *Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. Un caso de estudio. Parte 1: Formulación del problema. Revista Ingeniería e investigación*, 26 (3): 149-156.
- Guillén, E., Barbeito, S., Martínez M. (2008). *Desarrollo de un nuevo algoritmo heurístico para la solución del problema de planificación de rutas con ventanas de tiempo. Universidad de Coruña*
- Martínez, F. (2008). *Optimización de diseño de rutas de vehículos usando algoritmos genéticos. Revista Épsilon*, 11: 21-20.
- Peidro, D., Poler, R., Mula, J., Verdagay, J. (2008). *Fuzzy optimization for supply chain planning under supply, demand and process uncertainties. Revista Science Direct*, 160: 2640-2657
- Polacek, M., Hartl, R., Doerner, H. (2004). *A Variable Neighborhood Search for the Multi Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows. Journal of Heuristics* 10: 613-627
- Pinzón, Y., Soto, D., Soto W. (2008). *Una metaheurística híbrida aplicada a un problema de planificación de rutas. Revista Avances en Sistemas e informática*, 5(3)
- Restrepo, J., Medina, P. (2008). *Un problema logístico de programación de vehículos con capacidad finita. Scientia et Technica* 38: 253
- Revelle, C., Rosing, K. (1997). *Heuristic concentration: Two stage solution construction, European Journal of Operational Research*, 97(1): 75-86
- Utterbeec, F., Hartanto, W., Oudheusden, D., Cattrysse, D. (2009). *The effects of resupply flexibility on the design of service parts supply systems. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(1):72-85
- Thomas, D., Griffin, P. (1995). *Coordinated Supply Chain Management. European Journal of Operational Research*, 94: 1-15
- Zhang, M., Janic, M., Tavasszy L. (2015). *A freight transport optimization model for integrated network, service, and policy design. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 77: 61-76

ANEXOS

Anexo 1

Lista de clientes y rutas de despacho desde centros de distribución

| Cliente | Ruta |
|-----------------------------|---|
| ALMACENDURANDELMETASAS | BOGOTA D.C. - ACACIAS - META |
| ALDIASA | BOGOTA D.C. - BUCARAMANGA - SANTANDER D |
| C.H.P.MATERIALESPARACONSTR | BOGOTA D.C. - BUCARAMANGA - SANTANDER D |
| SODIMACCOLOMBIASA | BOGOTA D.C. - BUCARAMANGA - SANTANDER D |
| ALTACOLNORVENTASSA | BOGOTA D.C. - CHIA - CUNDINAMARCA |
| FFSOLUCIONESSA | BOGOTA D.C. - CHIA - CUNDINAMARCA |
| FERCOLTDAFERRETERIAYCONST | BOGOTA D.C. - CUCUTA - NORTE DE SANTAND |
| FERRETERIANURUEÑAS.A.S | BOGOTA D.C. - CUCUTA - NORTE DE SANTAND |
| CAMILOACOSTADURANSAS | BOGOTA D.C. - DUITAMA - BOYACA |
| ALCANOSDECOLOMBIASAESP | BOGOTA D.C. - FLORENCIA - CAQUETA |
| ALFREDOPLATARUEDASA | BOGOTA D.C. - GIRARDOT - CUNDINAMARCA |
| COINTELCOSA | BOGOTA D.C. - IBAGUE - TOLIMA |
| FERRETERIAGODOYSA | BOGOTA D.C. - IBAGUE - TOLIMA |
| CONSTRUIMOSDELHUILA | BOGOTA D.C. - NEIVA - HUILA |
| CONSTRUCTORAGISAICOSA | BOGOTA D.C. - SOGAMOSO - BOYACA |
| AGUASDEURABASAESP | BARRANQUILLA - APARTADO - ANTIOQUIA |
| FERREMATERIALESDELCARIBES. | BARRANQUILLA - BARRANQUILLA- ATLANTICO |
| GEOTECNICASAS | BARRANQUILLA - BARRANQUILLA- ATLANTICO |
| MATERIALESRUEDALTDA | BARRANQUILLA - BARRANQUILLA- ATLANTICO |
| A&DALVARDO&DURINGS.A.S. | BARRANQUILLA - CARTAGENA - BOLIVAR |
| CONSTRUCCIONESAGUAMARINAS.A | BARRANQUILLA - CARTAGENA - BOLIVAR |
| MEJIAVILLEGASCONSTRUCTORES | BARRANQUILLA - CARTAGENA - BOLIVAR |
| SODIMACCOLOMBIASA | BARRANQUILLA - CARTAGENA - BOLIVAR |
| AGROINDUSTRIASJMDYCIA.S.C | BARRANQUILLA - FUNDACION - MAGDALENA |
| MATERIALESCOLOMBIAS.A.S | BARRANQUILLA - FUNDACION - MAGDALENA |
| INGENIERIATOTALS.A.S | BARRANQUILLA - MAICAO - LA GUAJIRA |
| CONSTRUTUBOSS.A. | BARRANQUILLA - SINCELEJO - SUCRE |
| ALMACENFERROMOTORESS.A. | BARRANQUILLA - VALLEDUPAR - CESAR |
| COINTELCOSA | BARRANQUILLA - VALLEDUPAR - CESAR |

| Cliente | Ruta |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| UNIFELS.A. | BARRANQUILLA - VALLEDUPAR - CESAR |
| ALMACENSANITARIODELQUINDIO | CALI - ARMENIA - QUINDIO |
| SODIMACCOLOMBIASA | CALI - ARMENIA - QUINDIO |
| CONALVIASCONSTRUCCIONESSAS | CALI - BUENAVENTURA - VALLE |
| DISTRIBUCIONESPVCSAS | CALI - BUENAVENTURA - VALLE |
| DIMELINGENIERIASA | CALI - CALI CENTRO |
| EMCALIEICESP | CALI - CALI CENTRO |
| FERROCCIDENTECALILTDA | CALI - CALI CENTRO |
| ALMACENPARISS.A. | CALI - MANIZALES - CALDAS |
| CONSORCIOALCANTARILLADODORA | CALI - MANIZALES - CALDAS |
| ACUAVIVAS.A.E.S.P. | CALI - PALMIRA - VALLE |
| FERRETERIATORREPACS.A.S | CALI - PALMIRA - VALLE |
| SYSCOSAS | CALI - PALMIRA - VALLE |
| CONHYDRASAESP | CALI - PASTO - NARIÑO |
| CONSORCIOREDEPASTO | CALI - PASTO - NARIÑO |
| ALMACENSANITARIODELQUINDIO | CALI - PEREIRA - RISARALDA |
| EMPRESAACUEDUCTALCANTPEREI | CALI - PEREIRA - RISARALDA |
| ALCANOSDECOLOMBIASAESP | CALI - POPAYAN - CAUCA |
| CONSORCIO C&M | CALI - POPAYAN - CAUCA |
| FERRETERIAMUNDIALLTDA. | CALI - POPAYAN - CAUCA |
| ROBERTOSALAZAR&ASOCIADOSSA | MEDELLIN - CALDAS - ANTIOQUIA |
| ARQUITECTURAYCONCRETOSAS | MEDELLIN - MEDELLIN BELEN |
| CONINSARAMONHSA | MEDELLIN - MEDELLIN BELEN |
| CONASFALTOSSA | MEDELLIN - MEDELLIN NORTE |
| OPTIMASA | MEDELLIN - MEDELLIN NORTE |
| SANEARSA | MEDELLIN - MEDELLIN NORTE |
| FURELSA | MEDELLIN - MEDELLIN SUR ALTO |
| GISAICOSA | MEDELLIN - MEDELLIN SUR ALTO |
| OPTIMASA | MEDELLIN - MEDELLIN SUR ALTO |
| AIASA | MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO |
| ACUATUBOSSA | MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO |
| CONINSARAMONHSA | MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO |
| GEOTECNICASAS | MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO |
| SODIMACCOLOMBIASA | MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO |
| FERRETERIA CHMSAS | MEDELLIN - QUIBDO - CHOCO |
| JOSEJAIMEOROZCOGIRALDO | MEDELLIN - QUIBDO - CHOCO |
| TUBOSYSANDBLASTINGYCIALT | MEDELLIN - QUIBDO - CHOCO |

Anexo 2

Rutas origen, destino, intermedias y fletes

| Ruta con posibles paradas | Valor del flete |
|---|------------------------|
| BOGOTA - GUAYABETAL - VILLAVICENCIO - ACACIAS | \$ 682,000 |
| BOGOTA- BARBOSA-SOCORRO - SAN GIL - BUCARAMANGA | \$ 920,000 |
| BOGOTA- BARBOSA-SOCORRO - SAN GIL - BUCARAMANGA | \$ 920,000 |
| BOGOTA- BARBOSA-SOCORRO - SAN GIL - BUCARAMANGA | \$ 920,000 |
| BOGOTA D.C. - CHIA - CUNDINAMARCA | \$ 280,000 |
| BOGOTA D.C. - CHIA - CUNDINAMARCA | \$ 280,000 |
| BOGOTA-TUNJA-BUCARAMANGA - CUCUTA | \$ 1,210,000 |
| BOGOTA-TUNJA-BUCARAMANGA - CUCUTA | \$ 1,210,000 |
| BOGOTA - CAJICA- TUNJA- DUITAMA | \$ 700,000 |
| BOGOTA-FUSAGASUGA-MELGAR-NEIVA-FLORENCIA | \$ 1,023,000 |
| BOGOTA-SILVANIA-MELGAR-GIRARDOT | \$ 499,000 |
| BOGOTA-SILVANIA-MELGAR-GIRARDOT-IBAGUE | \$ 530,000 |
| BOGOTA-SILVANIA-MELGAR-GIRARDOT-IBAGUE | \$ 530,000 |
| BOGOTA-ESPINAL-GUAMO-NATAGAIMA-AIPE-NEIVA | \$ 660,000 |
| BOGOTA - CAJICA- TUNJA- DUITAMA-SOGAMOSO | \$ 480,000 |
| BARRANQUILLA-MALAMBO-SINCELEJO-CERETE-MONTERIA-NECOCLI-APARTADO | \$ 1,450,000 |
| BARRANQUILLA - BARRANQUILLA- ATLANTICO | \$ 250,000 |
| BARRANQUILLA - BARRANQUILLA- ATLANTICO | \$ 250,000 |
| BARRANQUILLA - BARRANQUILLA- ATLANTICO | \$ 250,000 |
| BARRANQUILLA-BARANOA-SABANALARGA-LURUACO-CARTAGENA | \$ 570,000 |
| BARRANQUILLA-CIENAGA-ARACATACA-FUNDACION | \$ 620,000 |
| BARRANQUILLA-CIENAGA-ARACATACA-FUNDACION | \$ 620,000 |
| BARRANQUILLA-CIENAGA-SANTA MARTA-RIOHACHA-MAICAO | \$ 420,000 |
| BARRANQUILLA-MALAMBO-SINCELEJO | \$ 750,000 |
| BARRANQUILLA-CIENAGA-ARACATACA-FUNDACION-BOSCONIA-VALLEDUPAR | \$ 750,000 |
| BARRANQUILLA-CIENAGA-ARACATACA-FUNDACION-BOSCONIA-VALLEDUPAR | \$ 750,000 |
| BARRANQUILLA-CIENAGA-ARACATACA-FUNDACION-BOSCONIA-VALLEDUPAR | \$ 750,000 |
| CALI-BUGA-ZARZAL-ARMENIA | \$ 540,000 |
| CALI-BUGA-ZARZAL-ARMENIA | \$ 540,000 |

| Ruta con posibles paradas | Valor del flete |
|---|------------------------|
| CALI-DAGUA-GAMBOA-BUENAVNTURA | \$ 375,000 |
| CALI-DAGUA-GAMBOA-BUENAVNTURA | \$ 375,000 |
| CALI - CALI CENTRO | \$ 500,000 |
| CALI - CALI CENTRO | \$ 500,000 |
| CALI - CALI CENTRO | \$ 500,000 |
| CALI-PALMIRA-TULUA-PEREIRA-MANIZALES | \$ 790,000 |
| CALI-PALMIRA-TULUA-PEREIRA-MANIZALES | \$ 790,000 |
| CALI-PALMASECA-MONTEALEGRE-TIENDANUEVA-PALMIRA | \$ 322,000 |
| CALI-PALMASECA-MONTEALEGRE-TIENDANUEVA-PALMIRA | \$ 322,000 |
| CALI-PALMASECA-MONTEALEGRE-TIENDANUEVA-PALMIRA | \$ 322,000 |
| CALI-JAMUNDI-SANTANDER DE QUILICHAO-PIENDAMO-POPAYAN-EL BORDO-PASTO | \$ 950,000 |
| CALI-JAMUNDI-SANTANDER DE QUILICHAO-PIENDAMO-POPAYAN-EL BORDO-PASTO | \$ 950,000 |
| CALI-YUMBO-BUGA-TULUA-ZARZAL-PAREIRA | \$ 650,000 |
| CALI-YUMBO-BUGA-TULUA-ZARZAL-PAREIRA | \$ 650,000 |
| CALI-JAMUNDI-SANTANDER DE QUILICHAO-PIENDAMO-POPAYAN | \$ 600,000 |
| CALI-JAMUNDI-SANTANDER DE QUILICHAO-PIENDAMO-POPAYAN | \$ 600,000 |
| CALI-JAMUNDI-SANTANDER DE QUILICHAO-PIENDAMO-POPAYAN | \$ 600,000 |
| MEDELLIN - CALDAS – ANTIOQUIA | \$ 260,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN BELEN | \$ 237,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN BELEN | \$ 237,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN NORTE | \$ 310,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN NORTE | \$ 310,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN NORTE | \$ 310,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR ALTO | \$ 290,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR ALTO | \$ 290,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR ALTO | \$ 290,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | \$ 240,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | \$ 240,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | \$ 240,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | \$ 240,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | \$ 240,000 |
| MEDELLIN-CIUDAD BOLIVAR-TUTUNENDO-QUIBDO | \$ 1,200,000 |
| MEDELLIN-CIUDAD BOLIVAR-TUTUNENDO-QUIBDO | \$ 1,200,000 |
| MEDELLIN-CIUDAD BOLIVAR-TUTUNENDO-QUIBDO | \$ 1,200,000 |

Anexo 3

Rutas con distancias y ventanas horarias de recibo

| Ruta | Distancia en kilómetros | Tránsito en horas | Ventana horaria |
|---|--------------------------------|--------------------------|------------------------|
| BOGOTA D.C. - ACACIAS - META | 132 | 3.5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| BOGOTA D.C. - BUCARAMANGA - SANTANDER D | 407 | 8.5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| BOGOTA D.C. - BUCARAMANGA - SANTANDER D | 407 | 8.5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| BOGOTA D.C. - BUCARAMANGA - SANTANDER D | 407 | 8.5 | 7:00 AM - 12:00 PM |
| BOGOTA D.C. - CHIA - CUNDINAMARCA | 35 | 1 | 7:00 AM - 10:00 AM |
| BOGOTA D.C. - CHIA - CUNDINAMARCA | 35 | 1 | 8:00 AM - 12:00 PM |
| BOGOTA D.C. - CUCUTA - NORTE DE SANTAND | 555 | 14 | 8:00 AM - 2:00 PM |
| BOGOTA D.C. - CUCUTA - NORTE DE SANTAND | 555 | 14 | 10:00 AM - 2:00 PM |
| BOGOTA D.C. - DUITAMA - BOYACA | 204 | 3.5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| BOGOTA D.C. - FLORENCIA - CAQUETA | 542 | 4 | 09:00 AM - 3:00 PM |
| BOGOTA D.C. - GIRARDOT - CUNDINAMARCA | 135 | 3 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| BOGOTA D.C. - IBAGUE - TOLIMA | 194 | 5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| BOGOTA D.C. - IBAGUE - TOLIMA | 194 | 5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| BOGOTA D.C. - NEIVA - HUILA | 297 | 5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| BOGOTA D.C. - SOGAMOSO - BOYACA | 222 | 4 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| BARRANQUILLA - APARTADO - ANTIOQUIA | 583 | 13 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| BARRANQUILLA - BARRANQUILLA-ATLANTICO | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| BARRANQUILLA - BARRANQUILLA-ATLANTICO | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| BARRANQUILLA - BARRANQUILLA-ATLANTICO | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| BARRANQUILLA - CARTAGENA - BOLIVAR | 128 | 3 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| BARRANQUILLA - CARTAGENA - BOLIVAR | 128 | 3 | 8:00 AM - 5:00 PM |

| Ruta | Distancia en kilómetros | Tránsito en horas | Ventana horaria |
|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|
| BARRANQUILLA - CARTAGENA - BOLIVAR | 128 | 3 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| BARRANQUILLA - CARTAGENA - BOLIVAR | 128 | 3 | 7:00 AM - 12:00 PM |
| BARRANQUILLA - FUNDACION - MAGDALENA | 138 | 3 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| BARRANQUILLA - FUNDACION - MAGDALENA | 138 | 3 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| BARRANQUILLA - MAICAO - LA GUAJIRA | 341 | 6 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| BARRANQUILLA - SINCELEJO - SUCRE | 230 | 4 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| BARRANQUILLA - VALLEDUPAR - CESAR | 294 | 5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| BARRANQUILLA - VALLEDUPAR - CESAR | 294 | 5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| BARRANQUILLA - VALLEDUPAR - CESAR | 294 | 5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| CALI - ARMENIA - QUINDIO | 178 | 3 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| CALI - ARMENIA - QUINDIO | 178 | 3 | 7:00 AM - 12:00 PM |
| CALI - BUENAVENTURA - VALLE | 122 | 5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| CALI - BUENAVENTURA - VALLE | 122 | 5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| CALI - CALI CENTRO | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| CALI - CALI CENTRO | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| CALI - CALI CENTRO | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| CALI - MANIZALES - CALDAS | 259 | 4.5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| CALI - MANIZALES - CALDAS | 259 | 4.5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| CALI - PALMIRA - VALLE | 85 | 1.5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| CALI - PALMIRA - VALLE | 85 | 1.5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| CALI - PALMIRA - VALLE | 85 | 1.5 | 8:00 AM - 4:00 PM |
| CALI - PASTO - NARIÑO | 390 | 7.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| CALI - PASTO - NARIÑO | 390 | 7.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| CALI - PEREIRA - RISARALDA | 210 | 3.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| CALI - PEREIRA - RISARALDA | 210 | 3.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| CALI - POPAYAN - CAUCA | 138 | 3 | 7:00 AM - 3:00 PM |
| CALI - POPAYAN - CAUCA | 138 | 3 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| CALI - POPAYAN - CAUCA | 138 | 3 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - CALDAS - ANTIOQUIA | 22 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - MEDELLIN BELEN | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - MEDELLIN BELEN | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - MEDELLIN NORTE | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |

| Ruta | Distancia en kilómetros | Tránsito en horas | Ventana horaria |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|
| MEDELLIN - MEDELLIN NORTE | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - MEDELLIN NORTE | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR ALTO | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR ALTO | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR ALTO | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | 30 | 0.5 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | 30 | 0.5 | 7:00 AM - 12:00 PM |
| MEDELLIN - QUIBDO - CHOCO | 189 | 12 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - QUIBDO - CHOCO | 189 | 12 | 8:00 AM - 5:00 PM |
| MEDELLIN - QUIBDO - CHOCO | 189 | 12 | 8:00 AM - 5:00 PM |

Anexo 4

Rutas origen, destino, intermedias y fletes

| Ruta | Flete por unidad transportada en miles de COP | | |
|---|---|-----------------------|--------------------------------------|
| | TB ACU 4 UM RDE51 6M | TB BIAx 8 6M PR160 | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M |
| BOGOTA D.C. - ACACIAS - META | 1,249 | 5,246 | 56,833 |
| BOGOTA D.C. - BUCARAMANGA - SANTANDER D | 1,685 | 7,077 | 76,667 |
| BOGOTA D.C. - BUCARAMANGA - SANTANDER D | 1,685 | 7,077 | 76,667 |
| BOGOTA D.C. - BUCARAMANGA - SANTANDER D | 1,685 | 7,077 | 76,667 |
| BOGOTA D.C. - CHIA - CUNDINAMARCA | 513 | 2,154 | 23,333 |
| BOGOTA D.C. - CHIA - CUNDINAMARCA | 513 | 2,154 | 23,333 |
| BOGOTA D.C. - CUCUTA - NORTE DE SANTAND | 2,216 | 9,308 | 100,833 |
| BOGOTA D.C. - CUCUTA - NORTE DE SANTAND | 2,216 | 9,308 | 100,833 |
| BOGOTA D.C. - DUITAMA - BOYACA | 1,282 | 5,385 | 58,333 |
| BOGOTA D.C. - FLORENCIA - CAQUETA | 1,874 | 7,869 | 85,250 |
| BOGOTA D.C. - GIRARDOT - CUNDINAMARCA | 914 | 3,838 | 41,583 |
| BOGOTA D.C. - IBAGUE - TOLIMA | 971 | 4,077 | 44,167 |
| BOGOTA D.C. - IBAGUE - TOLIMA | 971 | 4,077 | 44,167 |
| BOGOTA D.C. - NEIVA - HUILA | 1,209 | 5,077 | 55,000 |
| BOGOTA D.C. - SOGAMOSO - BOYACA | 879 | 3,692 | 40,000 |
| BARRANQUILLA - APARTADO - ANTIOQUIA | 2,656 | 11,154 | 120,833 |
| BARRANQUILLA - BARRANQUILLA- ATLANTICO | 458 | 1,923 | 20,833 |
| BARRANQUILLA - BARRANQUILLA- ATLANTICO | 458 | 1,923 | 20,833 |
| BARRANQUILLA - BARRANQUILLA- ATLANTICO | 458 | 1,923 | 20,833 |
| BARRANQUILLA - CARTAGENA - BOLIVAR | 1,044 | 4,385 | 47,500 |
| BARRANQUILLA - CARTAGENA - BOLIVAR | 1,044 | 4,385 | 47,500 |
| BARRANQUILLA - CARTAGENA - BOLIVAR | 1,044 | 4,385 | 47,500 |
| BARRANQUILLA - CARTAGENA - BOLIVAR | 1,044 | 4,385 | 47,500 |
| BARRANQUILLA - FUNDACION - MAGDALENA | 1,136 | 4,769 | 51,667 |
| BARRANQUILLA - FUNDACION - MAGDALENA | 1,136 | 4,769 | 51,667 |
| BARRANQUILLA - MAICAO - LA GUAJIRA | 769 | 3,231 | 35,000 |
| BARRANQUILLA - SINCELEJO - SUCRE | 1,374 | 5,769 | 62,500 |
| BARRANQUILLA - VALLEDUPAR - CESAR | 1,374 | 5,769 | 62,500 |
| BARRANQUILLA - VALLEDUPAR - CESAR | 1,374 | 5,769 | 62,500 |
| BARRANQUILLA - VALLEDUPAR - CESAR | 1,374 | 5,769 | 62,500 |
| CALI - ARMENIA - QUINDIO | 989 | 4,154 | 45,000 |
| CALI - ARMENIA - QUINDIO | 989 | 4,154 | 45,000 |

Flete por unidad transportada en miles de COP

| Ruta | TB ACU 4 UM RDE51 6M | TB BIAx 8 6M PR160 | TB ALC NOVAFORT S4 600MM(24) 6.5M |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| CALI - BUENAVENTURA - VALLE | 687 | 2,885 | 31,250 |
| CALI - BUENAVENTURA - VALLE | 687 | 2,885 | 31,250 |
| CALI - CALI CENTRO | 916 | 3,846 | 41,667 |
| CALI - CALI CENTRO | 916 | 3,846 | 41,667 |
| CALI - CALI CENTRO | 916 | 3,846 | 41,667 |
| CALI - MANIZALES - CALDAS | 1,447 | 6,077 | 65,833 |
| CALI - MANIZALES - CALDAS | 1,447 | 6,077 | 65,833 |
| CALI - PALMIRA - VALLE | 590 | 2,477 | 26,833 |
| CALI - PALMIRA - VALLE | 590 | 2,477 | 26,833 |
| CALI - PALMIRA - VALLE | 590 | 2,477 | 26,833 |
| CALI - PASTO - NARIÑO | 1,740 | 7,308 | 79,167 |
| CALI - PASTO - NARIÑO | 1,740 | 7,308 | 79,167 |
| CALI - PEREIRA - RISARALDA | 1,190 | 5,000 | 54,167 |
| CALI - PEREIRA - RISARALDA | 1,190 | 5,000 | 54,167 |
| CALI - POPAYAN - CAUCA | 1,099 | 4,615 | 50,000 |
| CALI - POPAYAN - CAUCA | 1,099 | 4,615 | 50,000 |
| CALI - POPAYAN - CAUCA | 1,099 | 4,615 | 50,000 |
| MEDELLIN - CALDAS - ANTIOQUIA | 476 | 2,000 | 21,667 |
| MEDELLIN - MEDELLIN BELEN | 434 | 1,823 | 19,750 |
| MEDELLIN - MEDELLIN BELEN | 434 | 1,823 | 19,750 |
| MEDELLIN - MEDELLIN NORTE | 568 | 2,385 | 25,833 |
| MEDELLIN - MEDELLIN NORTE | 568 | 2,385 | 25,833 |
| MEDELLIN - MEDELLIN NORTE | 568 | 2,385 | 25,833 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR ALTO | 531 | 2,231 | 24,167 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR ALTO | 531 | 2,231 | 24,167 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR ALTO | 531 | 2,231 | 24,167 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | 440 | 1,846 | 20,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | 440 | 1,846 | 20,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | 440 | 1,846 | 20,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | 440 | 1,846 | 20,000 |
| MEDELLIN - MEDELLIN SUR BAJO | 440 | 1,846 | 20,000 |
| MEDELLIN - QUIBDO - CHOCO | 2,198 | 9,231 | 100,000 |
| MEDELLIN - QUIBDO - CHOCO | 2,198 | 9,231 | 100,000 |
| MEDELLIN - QUIBDO - CHOCO | 2,198 | 9,231 | 100,000 |

