

ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS RESTRICCIONES VIALES PARA VEHÍCULOS DE CARGA EN BOGOTÁ

AUTOR

DIANA LIZETH CASTRO QUEBRADAS

Profesional en Comercio Internacional
U9500894@Unimilitar.edu.co

Artículo Trabajo Final del programa de Especialización en Gerencia Logística Integral



La U
acreditada
para todos

**ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA LOGÍSTICA INTEGRAL
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
NOVIEMBRE, 2018**

ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS RESTRICCIONES VIALES PARA VEHÍCULOS DE CARGA EN BOGOTÁ

ANALYSIS OF THE IMPACT OF ROAD RESTRICTIONS FOR CARGO VEHICLES IN BOGOTÁ

Diana Lizeth Castro Quebradas
Especialización gerencia de logística integral
U9500894@unimilitar.edu.co

RESUMEN

El presente trabajo trata y muestra las restricciones viales actuales que existen en la ciudad de Bogotá para transporte de carga pesada, definidas por tipo de vehículo, las zonas de la ciudad donde aplicarían dichas restricciones y la afectación en tiempos de entrega para una empresa de productos de consumo masivo. Actualmente está presente una cultura en el mercado de servicio al cliente muy marcada, principalmente en el cumplimiento de los requerimientos de los clientes con respecto a los tiempos de entrega de los productos, por lo cual es importante mostrar las afectaciones que puedan generar en la ciudad de Bogotá los cambios de la densidad de tráfico por la movilidad, por lo cual este trabajo se encamina en mostrar los posibles escenarios a través de herramientas donde se exponen las alternativas en un problema de enrutamiento, La metodología utilizada se fundamentó en el uso de plataformas como Google Maps, la calculadora de distancias y la matriz de VRP de agente viajero.

Los Resultados de las dos simulaciones muestra el tiempo de demora, considerando que la hora de salida de la ruta anteriormente era a las 6 am, lo que se considera densidad de tráfico rápido y con la aplicación de la nueva restricción, los vehículos comenzaron a salir a ruta a las 8:30 am, esto, representa una demora de 5 horas por el efecto del tráfico entre “Lento” y “Muy lento”.

Palabras Clave: Restricciones Viales, Densidad de Tráfico, Agente viajero, Problema de enrutamiento.

ABSTRACT

This work deals with and shows the current road restrictions that exist in the city of Bogotá for heavy cargo transportation, defined by type of vehicle, the areas of the city where these restrictions would apply and the impact on delivery times for a company. massive consume.

Currently there is a culture in the market of customer service very marked, mainly in compliance with the requirements of customers regarding the delivery times of the products, so it is important to show the effects that may be generated in the city of

Bogotá the changes in traffic density due to mobility, for which the present work is directed to show the possible scenarios through tools where the alternatives are exposed in a routing problem

The methodology used was based on the use of platforms such as Google Maps, the distance calculator and the traveling agent VRP matrix. The results of the two simulations show the delay time, considering that the departure time of the route was previously at 6 am, which is considered fast traffic density and with the application of the new restriction, the vehicles started to leave to route at 8:30 am, this represents a delay of 5 hours due to the effect of traffic between "Slow" and "Very slow".

Keywords: Road Restrictions in Bogotá, Traffic Density, traveling agent, routing problem, distance calculator.

INTRODUCCIÓN

Las empresas de consumo masivo, dependen de la movilización y distribución de sus productos a los clientes y distribuidores, dicha movilización corresponde a la demanda de los clientes y a las ventas que se generen por cada tipo de producto. Este costo logístico es quizás el más importante a considerar, ya que es el último eslabón de la cadena, en la cual, directamente el transportador presta el servicio de entrega final. Podría considerarse que le impacta aproximadamente 44% de los costos logísticos. [1]

Esto se debe a que el transporte es la base fundamental en el traslado de bienes necesarios para las actividades económicas que se desarrollan en las ciudades y, por ende, en la consolidación de las empresas de productos de consumo masivo. Por ello el mercado exige el desarrollo de procesos logísticos que optimicen el intercambio y entrega de la mercancía, siendo la disponibilidad y accesibilidad de los bienes una condición necesaria para lograr una mayor competitividad y que los consumidores reciban a tiempo y en condiciones adecuadas los productos requeridos.

En tal sentido, los servicios de logística en el sector de transporte deben ser eficientes, rentables y confiables, con la finalidad de garantizar que los tiempos de los traslados no impliquen costos finales que no solo inciden en pérdidas para las empresas, sino que pueden también afectar al consumidor.

Uno de los factores que deben ser tomados en cuenta en el proceso de logístico del traslado de alimentos son las restricciones urbanas que existen para la circulación de los vehículos de transporte, ya que estas pueden limitar u obstaculizar el proceso de las operaciones y que la mercancía llegue a su destino en buen estado. Generalmente, las autoridades de las grandes ciudades controlan la circulación de los transportes de carga, ya sea dentro de la propia ciudad o hacia/desde las zonas aledañas para evitar la congestión vehicular en las principales vías.

Entre estas normativas destacan la delimitación de franjas horarias, días o zonas para la circulación de vehículos de carga, especificación de calles para carga y descarga y

control de circulación de acuerdo a los volúmenes de carga o a los tipos de ejes de los vehículos [2].

En Bogotá existen actualmente una serie de normas y medidas que regulan el transporte de carga, las cuales están dirigidas a reducir la contaminación y mejorar las condiciones de la calidad del aire en la ciudad. Además, las normativas también pretenden mejorar la seguridad vial, ya que se señala una alta siniestralidad vehicular en la cual están involucrados vehículos de carga pesada [3].

Dichas restricciones no solo afectan el área urbana sino las zonas aledañas; por tal motivo, como se ha dicho, inciden en los tiempos del transporte y despacho de mercancía dentro de la ciudad y en la relación comercial que se establece con las zonas cercanas a la misma, afectando un amplio perímetro de distribución.

En consecuencia, se hace necesario elaborar una coordinación acertada en la empresa de transporte de alimentos de consumo masivo, de acuerdo con las normativas establecidas por los entes gubernamentales. Para la empresa de alimentos citada en el caso de estudio, estas medidas tomadas por el ejecutivo nacional, que impactan el libre tránsito vehicular representan una limitante importante en cuanto a recursos materiales, como lo son la disponibilidad vehicular y el recurso humano, afectando los tiempos y citas de entregas en los clientes, que impactan la economía y venta al detal de los distribuidores autorizados. Por otro lado, gran cantidad de los clientes al detal, manejan horarios de recibo de producto a los proveedores en horarios comprendidos desde las 6 am hasta las 11 am. Con la medida de restricción vehicular, los despachos cambiarían de horarios en las bodegas de clientes.

Se debe tomar en cuenta, que con los vehículos que anteriormente salían a entregar a las 6 am, se podía garantizar al personal jornadas de 8 horas diurnas, ahora con la restricción anunciada aumentan posibilidades de extender los horarios del personal a horas extras.

Como factor más importante a considerar, esta restricción recorta los tiempos de entregas según los horarios de atención en bodegas de distribuidores, ocasionando incremento en necesidad de disponibilidad de flota, y desperdiciando la capacidad de cargue, ya que los vehículos no podrán despacharse a su máxima capacidad por considerarse que el tiempo requerido es mayor al tiempo que se tomaba la flota en entregar pedidos anteriormente.

Existen pocos trabajos especialmente orientados a estudiar la logística de los transportes de carga y básicamente estos relacionan el medio de transporte con los costos que implica para las empresas las limitaciones en la normal operatividad, estableciendo propuestas con la finalidad de optimizar los procesos de transporte tanto terrestre como marítimo en beneficio de las empresas implicadas [4]. En el caso concreto del transporte en la ciudad de Bogotá, no se han ubicado estudios sobre este problema.

En tal sentido, el contexto de presente trabajo aborda la restricción vehicular urbana para vehículos de transporte de alimentos de una empresa de producción de consumo

masivo en la entrega de pedidos de clientes en Bogotá. Es importante destacar que el transporte de carga urbano es parte de la cadena de suministro de las empresas, constituyendo un porcentaje relevante dentro de los costos totales, lo cual hace que sea necesario revisar las restricciones al transporte de carga en la ciudad de Bogotá, especialmente en relación a las horas que pueden circular o al tamaño de los vehículos.

De acuerdo a lo expuesto, se plantea la siguiente pregunta como problema de investigación ¿Cuáles son las restricciones viales actuales que existen en la ciudad de Bogotá para transporte de carga pesada, definidas por tipo de vehículo? ¿En qué zonas de la ciudad aplicarían dichas restricciones y ¿Cuál es la afectación en tiempos de entrega para una empresa productos de consumo masivo?

Es importante destacar que las informaciones acerca de las restricciones viales a nivel urbano son públicas, y están ubicadas en la página del ministerio de transporte [5], pero frecuentemente no son consideradas en la logística de las empresas. Es por ello que la investigación tiene como justificación la actualización de las condiciones actuales de la normatividad vehicular, de tal manera que, al realizar la validación de estas restricciones viales a nivel urbano, se puede considerar la reducción de ocupación de flota debido a dicha normatividad. Por otro lado, la investigación se justifica en el aporte a otros estudios sobre el tema, ya que como se ha mencionado anteriormente, existen pocos trabajos centrados en este problema, el cual requiere ser suficientemente explorado en beneficio de las empresas colombianas.

Como resultado de la investigación, se espera exponer de manera organizada las restricciones vehiculares vigentes en la ciudad de Bogotá y zonas adyacentes, que tienen incidencia en los vehículos de carga, especificando geográficamente su alcance, horarios, tipos de vehículos y posible afectación en costos de entregas por limitaciones de distribución. La información es suministrada por la empresa de productos masivos y se cuenta con una base maestra de clientes, donde están relacionados los datos de ubicación de los clientes, clasificados por zonas de transportes y tamaño de los pedidos, de igual forma son conocidos los tiempos operativos de cargas y despachos, con el fin de sugerir cambios de horarios, en caso que sea necesario.

Los beneficios de la investigación van dirigidos especialmente a la empresa de alimentos de consumo masivo, ya que al establecer un sistema organizado y actualizado en cuanto a las restricciones que pueden limitar los tiempos de cargas y entregas, es posible disminuir los costos generados por retardos, así como aquellas situaciones relacionados a la espera para la operatividad de la flota de vehículos. Asimismo, la investigación beneficia a los transportistas, al optimizar los tiempos de sus operaciones y evitar inconvenientes durante el tiempo de sus labores. Por último, beneficia a los clientes de la empresa, al tener tiempos de entrega seguros de acuerdo a las estimaciones y cronogramas acordados.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

En Bogotá empezó a regir la restricción a la circulación de vehículos de transporte de carga de dos o más ejes con capacidad de carga mayor a siete toneladas, que aplica de lunes a viernes, entre las 6 am y las 8 a.m., en la Avenida Centenario (calle 13) y en sentido contrario, en el tramo comprendido entre el río Bogotá y la Avenida Boyacá. Establecido en el Decreto 593 de 2018, expedido el 17 de octubre del 2018, con el propósito de mejorar las condiciones de calidad del aire en la zona sur occidental de la ciudad y la movilidad del corredor, teniendo en cuenta que dicho corredor, (Avenida Centenario o conocido comúnmente como calle 13) se caracteriza por una elevada demanda de transporte de pasajeros. [6].

Tabla 2. Restricciones Viales en Bogotá.

Tipo de Restricción por Clase de Vehículos	Decreto	Días de Aplicación	Horario	Esquema	Observación
Pico y Placa Ambiental Vehículos de Transporte de Carga	Decreto 174/2016	Lunes a Viernes (No aplicará días Festivos establecidos por la Ley)	9:00 - 10:00	Para todos los vehículos de transporte de carga (incluye servicio público y particular.	No será aplicable a los vehículos de transporte de carga de cinco toneladas o menos de peso bruto vehicular. No será aplicable a los vehículos particulares de carga, como los vinculados a las empresas de transporte de carga que se acojan al "Programa de Autorregulación Ambiental"
Vehículos de transporte de carga con capacidad de carga superior a siete (7) toneladas	Decreto 520/2013 y Decreto 690/2013		6:30 - 08:30 y 17:00 - 19:30	La restricción aplica en la ZONA 2 comprendida al interior del siguiente perímetro: *Por el Norte: Avenida Calle 170. * Por el occidente avenida Boyacá o Carrera 72. *Por el Sur: Avenida Primero de Mayo o, Calle 22 Sur. *Por el oriente: Limite oriental de la ciudad, La Zona 2 no incluye las vías que delimitan, ya que por estas vías podrán circular los vehículos de transporte de carga hasta designación 2 (dos ejes), con un máximo peso bruto vehicular de 17,425 toneladas. Se exceptúa de la zona 2, el sector de Toberin, delimitado por: Calle 170- Carrera 16 al sur – Calle 164 – Carrera 20 al norte – Calle 170.	No será aplicable a los siguientes vehículos: 1. Los de emergencia. 2. Los de valores, los de alimentos perecederos, animales vivos y gases medicinales. 3. Los operativos de las empresas de servicio públicos domiciliarios en servicio. 4. Los de transporte de materiales y maquinarias para las obras públicas que se encuentren en servicio, siempre y cuando la obra asociada a la actividad, cuente con el Plan de Manejo de Transito – PMT- Aprobado y vigente.

<p>Vehículos de transporte de carga con designación 3 ejes en adelante</p>			<p>La restricción en la Zona 3 aplica en todo el área urbana de Bogotá, incluido el sector de Toberin delimitado por la Calle 170 al oriente – Carrera 164 al occidente – Carrera 20 al Norte – Calle 170. Se exceptúa la zona 1 comprendida por las siguientes áreas: Unidades de planeamiento Zonal: Zona Franca, Granjas de Techo, Fontibón San Pablo, capellanía y Aeropuerto El Dorado. Por la Avenida Boyacá entre la Avenida Calle 13 y la Avenida Calle 26, se permite libre circulación, para el acceso a las UPZ capellanía y UPZ Aeropuerto el Dorado. Montevideo, Puente Aranda, Zona Industrial y Cundinamarca: Avenida Boyacá por Avenida de la Esperanza - Avenida de la Esperanza al oriente – Avenida de las Américas al Oriente, Troncal NQS al Sur, Avenida Calle 3 al Occidente – Avenida Carrera 68 al norte – Avenida de las Américas al Occidente hasta Avenida Boyacá. Plaoquemao, Ricaurte: Avenida NQS con Calle 23 al Oriente</p>	<p>No será aplicable a los siguientes vehículos 1. Los de Emergencia 2. Los de Valores, los de alimentos perecederos, animales vivos y gases medicinales. 3. Los operativos de las empresas de servicio público domiciliarios en servicio 4. Los transporte de materiales y maquinaria para obras públicas y privadas que se encuentren en servicio y los demás transporte de materiales de construcción perecederos de consumo inmediato : concreto hidráulico y asfáltico; siempre y cuando la obra asociada a la actividad, cuente con plan de manejo de tránsito- PMT- Aprobado</p>
<p>Vehículos de transporte de carga con peso bruto vehicular mayor a 3.5 toneladas</p>	<p>Lunes a Domingo</p>	<p>Todo el día</p>	<p>La restricción aplica en la localidad de la candelaria en el sector comprendido entre la carrera 9 y la Avenida circunvalar y de la Avenida Jiménez a la calle 7</p>	<p>No será aplicable a los vehículos operativos de las empresas de los servicios públicos domiciliarios de servicios</p>
<p>Vehículos de transporte de carga con 3 ejes o más o con peso bruto vehicular mayor a 17,425 toneladas</p>	<p>Lunes a Domingo</p>	<p>Todo el día</p>	<p>La restricción aplica en la malla vial Local tipo V-7 y v-9 (perfil 13 metros vial local secundaria en zonas residenciales)</p>	<p>No será aplicable a los vehículos operativos de las empresas de los servicios públicos domiciliarios de servicios</p>
<p>Vehículos de transporte de carga</p>	<p>Lunes a Domingo</p>	<p>Todo el día</p>	<p>La restricción aplica en la malla vial Local tipo V-8 y v-9 (perfil 10 metros vial local pública peatonal, vehicular restringida)</p>	

Vehículos de transporte de carga con designación de 2 (dos ejes) o más ejes con capacidad de carga superior a siete (7) toneladas	Decreto 593/2018	Lunes a Viernes	6:00 AM-08:00 AM	La restricción aplica sobre los dos sentidos de circulación de la Avenida Calle 13, desde el límite occidental del Distrito Capital, comprendido desde del Río Bogotá, hasta la Avenida Boyacá	No será aplicable a los siguientes vehículos 1. Los de Emergencia 2. Los de Valores, los de alimentos perecederos, animales vivos y gases medicinales. 3. Los operativos de las empresas de servicio público domiciliarios en servicio 4. Los de transporte de materiales y maquinaria para obras públicas que se encuentren en servicio, siempre y cuando la obra asociada a la actividad cuente con Plan de Manejo de Tránsito aprobado y vigente de acuerdo con los lineamientos definidos en el respectivo concepto técnico. 5. Los de transporte de acero, que se encuentren cargados. 6. Los de transporte de concreto tipo "hormigonero", que se encuentren cargados o vacíos. 7. Los camiones cisterna de transporte de combustible, que se encuentren cargados o vacíos. 8. Las empresas de transporte de carga que se encuentren vinculadas al Programa de Autorregulación Ambiental, sustentado en el parágrafo tercero del artículo 10 del Decreto Distrital 174 de 2006.
---	------------------	-----------------	------------------	--	---

Fuente: Elaboración propia.

Es decir que en las horas señaladas anteriormente por la restricción vehicular mencionada, se dificulta la circulación de vehículos de carga, por lo cual es necesario aplicar métodos alternativos que permitan suplir las deficiencias generadas por dicha normativa. A partir de allí se pueden plantear otras alternativas de horarios de cargues y escenarios de entregas, de manera de proponer soluciones a la empresa para evitar pérdidas económicas por tiempo y afectación de la entrega a los clientes.

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se utilizaron estadísticas de medición de tiempos de entregas por ruta, este resultado indico por cliente el cálculo de las distancias en longitud y latitud. El alcance de la investigación es exploratorio, debido a que se trata a un problema poco estudiado y se puede generar una propuesta de mejora para el problema planteado.

Se utilizó plataforma virtual Google Maps, con la ubicación geográfica de cada cliente que transporta una ruta, para obtener la información de latitud y longitud necesaria para alimentar la herramienta de calculadora de distancias.

La herramienta de calculadora de distancias, mide en kilómetros el recorrido desde el punto de partida, hacia cada punto de entrega seleccionado, con esto, se obtiene el total de distancia que se genera para culminar todas las entregas programadas.

Para el caso de estudio, se utiliza la demanda de distribución (ventas diarias) promedio del año por cada cliente.

Los datos anteriormente generados, son necesarios para la herramienta VRP, que se alimenta de la demanda de distribución obtenida y los datos de kilómetros necesarios para efectuar las entregas y como resultado, realiza el enrutamiento por vehículo y por cliente, genera la cantidad de vehículos necesarios para efectuar las entregas de los 15 clientes seleccionados y la distancia total recorrida por cada vehículo, partiendo del centro de distribución y regresando a este, terminada la ruta programada.

Esta restricción impacta a las empresas que transportan productos en la ciudad de Bogotá, en vehículos de capacidad de 7 toneladas en adelante, por lo cual se seleccionaron para el cálculo de ruteo 15 clientes que sus puntos de venta están ubicados en las áreas más críticas, debido a la congestión vehicular que se presenta en las localidades de Fontibón y Chapinero en determinadas horas.

Se calcularon los tiempos de entregas en los clientes seleccionados, a través de Google Maps, determinando el criterio de densidad de Tráfico desde el más rápido hasta el más lento y haciendo uso de la programación dinámica con el problema de ruteo de vehículos capacitado con ventanas de tiempo, permitiendo obtener resultados óptimos de carácter local, susceptibles de mejora.

El reto que se ha abordado surge de la necesidad de calcular los tiempos habilitados de tránsito y determinar su afectación en el nivel de pedidos entregados por las restricciones de tránsito.

El problema del agente viajero, consiste en hallar un recorrido que conecte todos los nodos de una red, visitándolos una única vez y finalizado su recorrido regresando al punto de partida, y que asimismo reduzca la distancia total de la ruta de entrega diseñada. Existen dos selecciones, para este caso se utilizó el VRP homogéneo que se refiere al problema de ruteo de vehículos, en el que la flota utilizada tiene las mismas características de capacidades, velocidad, y costo de flete.

Para dar solución al problema de enrutamiento y entrega del vehículo se planteó encontrar un recorrido más corto y para este caso se transportó 7.803 kilos, donde todos los productos pueden ser trasladados a cada cliente sin exceder la capacidad máxima permitida por tarjeta de propiedad de 9 toneladas, para el vehículo seleccionado de 2 ejes, tipificado como vehículo sencillo. Simplemente el vehículo debe encontrar un recorrido más corto que visitará a todos los clientes (es decir, una solución de TSP). Que logre proporcionar un nivel adecuado de servicio en tiempos de entrega, que puede generar un incremento en número de pedidos a entregar y por ende incremento en ventas que contribuiría en participación en el mercado y reducción de costos [7].

FORMULACION VRP

$$\text{Min } \sum cijXi \quad (1)$$

$$(i,j) \in E \quad (2)$$

$$\sum xij = 1 \quad \forall i \in V \quad (3)$$

$$j \in \Delta + (i) \quad (4)$$

$$\sum xij = 1 \quad \forall i \in V \quad (5)$$

$$i \in \Delta - (j) \quad (6)$$

$$\sum xij \geq 1 \quad \forall S \subset V \quad (7)$$

$$i \in S, j \in \Delta + (i) \setminus S \quad (8)$$

$$xij \in \{0, 1\} \quad \forall (i,j) \in E \quad (9)$$

2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Por medio de la plataforma Google Maps se determinaron las coordenadas de cada uno de los clientes que comprenden la muestra de estudio, las cuáles fueron necesarias para determinar los kilómetros recorridos y el tiempo de duración simulado por la misma plataforma.

Este ejercicio, comprende una ruta que está conformada por un centro de distribución ubicado en Montevideo que es el punto de partida, pasando por quince clientes y culmina en el mismo centro de distribución.

Tabla 2. Puntos de Entrega.

#	Nombre Punto de Venta	Dirección Comercial	Barrio	Zona de transporte
1	ALMACEN GRAN ESTACION	AVENIDA LA ESPERANZA # 62 – 49	GRAN ESTACION	FONTIBON
2	ALMACEN FONTIBON	AVEN CENTENARIO # 106-105	FONTIBON	FONTIBON
3	ALMACEN MODELIA	CRA 75 # 23F – 30	MODELIA	FONTIBON
4	ALMACEN PLAZA SALITRE	CRA 68B # 40-39 LOC 146	C.CIAL SALITRE PLAZA	FONTIBON
5	ALMACEN ESPERANZA	CL 35 A # 73 – 02	ESPERANZA	FONTIBON
6	ALMACEN AVENIDA CHILE	AVDA CARACAS # 71 - 60	QUINTA CAMACHO	CHAPINERO
7	ALMACEN CHAPINERO	CLL 52 # 13 – 70	CHAPINERO	CHAPINERO
8	ALMACEN CALLE 51	CRA 15 # 51 – 45	CHAPINERO	CHAPINERO
9	ALMACEN EXPRESS	CLL 57 # 21 – 34	CAMPIN	CHAPINERO

	CAMPIN			
10	ALMACEN CALLE 63	CLL 63 # 7 – 09	GRANADA	CHAPINERO
11	ALMACEN GALERIAS	CLL 53 # 26 – 60	GALERIAS	CHAPINERO
12	ALMACEN POLO CLUB	TV 24 # 83 – 39	POLO	CHAPINERO
13	ALMACEN PEPE SIERRA	CRA 15 # 114 A – 33	UNICENTRO	CHAPINERO
14	ALMACEN SOLEDAD	CRA 24 # 41 – 43	LA SOLEDAD	CHAPINERO
15	ALMACEN QUINTA CAMACHO	CLL 70 A # 10 A – 37	QUINTA CAMACHO	CHAPINERO
16	CENTRO DE DISTRIBUCION	Av. 68 - Calle 22 – 71	ZONA INDUSTRIAL	FONTIBON

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando herramientas como las plataformas virtuales, se puede realizar un ruteo efectivo en desplazamiento por cada punto de entrega y tiempos en tráfico, según el día y los horarios establecidos de entregas.

Para programar las entregas, se introdujeron los datos exactos y reales de cada cliente en Google Maps donde automáticamente estableció puntos de las diferentes ubicaciones en el mapa y suministro las coordenadas, puntalmente la latitud y longitud de distancias entre cada cliente.

Por medio de la herramienta de la calculadora de distancias, se utiliza las coordenadas que se obtienen de Google Maps, como resultado, se generan las distancias recorridas desde el punto de partida, hasta el punto de llegada, sin contemplar ningún otro tipo de variables como; ventana de atención ni tiempos de demoras en el cliente.

Tabla 3. Calculadora Matriz de Distancias (Km) – Coordenadas decimales.

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Latitud		4,65	4,65	4,68	4,67	4,65	4,66	4,66	4,64	4,64	4,65	4,65	4,64	4,67	4,70	4,63	4,66
	Long		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Latitud	Long	74,11	74,10	74,15	74,12	74,11	74,12	74,06	74,07	74,07	74,07	74,06	74,08	74,06	74,04	74,08	74,06
CENTRO DE DISTRIBUCION	4,65	-	-	1,35	5,52	2,31	0,82	1,72	6,16	5,19	5,06	4,58	5,84	4,10	6,16	9,49	4,49	5,94
GRAN ESTACION	4,65	-	1,35	-	6,40	2,75	1,08	2,26	4,83	4,03	3,91	3,35	4,56	2,92	4,83	8,21	3,58	4,61
FONTIBON	4,68	-	5,52	6,40	-	3,76	5,33	4,15	10,72	10,39	10,29	9,65	10,75	9,29	9,97	12,39	9,94	10,55
MODELIA	4,67	-	2,31	2,75	3,76	-	1,78	0,59	6,99	6,65	6,56	5,90	6,99	5,57	6,40	9,23	6,33	6,81
PLAZA SALITRE	4,65	-	0,82	1,08	5,33	1,78	-	1,23	5,80	5,10	4,99	4,41	5,61	4,00	5,61	8,84	4,61	5,59
ESPERANZA	4,66	-	1,72	2,26	4,15	0,59	1,23	-	6,72	6,23	6,13	5,51	6,64	5,14	6,26	9,25	5,83	6,53
AVENIDA CHILE	4,66	-	6,16	4,83	10,72	6,99	5,80	6,72	-	2,07	2,24	1,96	1,01	2,54	1,70	4,66	3,43	0,25
CHAPINERO	4,64	-	5,19	4,03	10,39	6,65	5,10	6,23	2,07	-	0,19	0,80	1,12	1,11	3,49	6,73	1,40	1,85
CALLE 51	4,64	-	5,06	3,91	10,29	6,56	4,99	6,13	2,24	0,19	-	0,79	1,30	0,99	3,61	6,89	1,22	2,01
EL CAMPIN	4,65	-	4,58	3,35	9,65	5,90	4,41	5,51	1,96	0,80	0,79	-	1,30	0,59	3,04	6,46	1,62	1,71
CALLE 63	4,65	-	5,84	4,56	10,75	6,99	5,61	6,64	1,01	1,12	1,30	1,30	-	1,87	2,61	5,66	2,52	0,83

GALERIAS	4,64	- 74,08	4,10	2,92	9,29	5,57	4,00	5,14	2,54	1,11	0,99	0,59	1,87	-	3,50	6,97	1,27	2,29
POLO CLUB	4,67	- 74,06	6,16	4,83	9,97	6,40	5,61	6,26	1,70	3,49	3,61	3,04	2,61	3,50	-	3,53	4,66	1,79
PEPE SIERRA	4,70	- 74,04	9,49	8,21	12,39	9,23	8,84	9,25	4,66	6,73	6,89	6,46	5,66	6,97	3,53	-	8,04	4,88
SOLEDA	4,63	- 74,08	4,49	3,58	9,94	6,33	4,61	5,83	3,43	1,40	1,22	1,62	2,52	1,27	4,66	8,04	-	3,19
QUINTA CAMACHO	4,66	- 74,06	5,94	4,61	10,55	6,81	5,59	6,53	0,25	1,85	2,01	1,71	0,83	2,29	1,79	4,88	3,19	-

Fuente: Elaboración propia.

Las distancias obtenidas, se ingresan en la matriz de VRP para calcular el tiempo en minutos, que se demora desde el punto de partida, a través de cada uno de los clientes, hasta el punto de llegada.

Tabla 4. Matriz de Distancias.

Demanda en Kilos	0	774	351	579	543	405	318	384	549	543	771	444	420	774	540	408
KILOMETROS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
CENTRO DE DISTRIBUCION	0,0	1,3	5,5	2,3	0,8	1,7	6,2	5,2	5,1	4,6	5,8	4,1	6,2	9,5	4,5	5,9
GRAN ESTACION	1,3	0,0	6,4	2,8	1,1	2,3	4,8	4,0	3,9	3,3	4,6	2,9	4,8	8,2	3,6	4,6
FONTIBON	5,5	6,4	0,0	3,8	5,3	4,2	10,7	10,4	10,3	9,7	10,7	9,3	10,0	12,4	9,9	10,6
MODELIA	2,3	2,8	3,8	0,0	1,8	0,6	7,0	6,7	6,6	5,9	7,0	5,6	6,4	9,2	6,3	6,8
PLAZA SALITRE	0,8	1,1	5,3	1,8	0,0	1,2	5,8	5,1	5,0	4,4	5,6	4,0	5,6	8,8	4,6	5,6
LA ESPERANZA	1,7	2,3	4,2	0,6	1,2	0,0	6,7	6,2	6,1	5,5	6,6	5,1	6,3	9,2	5,8	6,5
AVENIDA CHILE	6,2	4,8	10,7	7,0	5,8	6,7	0,0	2,1	2,2	2,0	1,0	2,5	1,7	4,7	3,4	0,3
CHAPINERO	5,2	4,0	10,4	6,7	5,1	6,2	2,1	0,0	0,2	0,8	1,1	1,1	3,5	6,7	1,4	1,9
CALLE 51	5,1	3,9	10,3	6,6	5,0	6,1	2,2	0,2	0,0	0,8	1,3	1,0	3,6	6,9	1,2	2,0
EXPRESS CAMPIN	4,6	3,3	9,7	5,9	4,4	5,5	2,0	0,8	0,8	0,0	1,3	0,6	3,0	6,5	1,6	1,7
CALLE 63	5,8	4,6	10,7	7,0	5,6	6,6	1,0	1,1	1,3	1,3	0,0	1,9	2,6	5,7	2,5	0,8
GALERIAS	4,1	2,9	9,3	5,6	4,0	5,1	2,5	1,1	1,0	0,6	1,9	0,0	3,5	7,0	1,3	2,3
POLO CLUB	6,2	4,8	10,0	6,4	5,6	6,3	1,7	3,5	3,6	3,0	2,6	3,5	0,0	3,5	4,7	1,8
PEPE SIERRA	9,5	8,2	12,4	9,2	8,8	9,2	4,7	6,7	6,9	6,5	5,7	7,0	3,5	0,0	8,0	4,9
SOLEDAD	4,5	3,6	9,9	6,3	4,6	5,8	3,4	1,4	1,2	1,6	2,5	1,3	4,7	8,0	0,0	3,2
QUINTA CAMACHO	5,9	4,6	10,6	6,8	5,6	6,5	0,3	1,9	2,0	1,7	0,8	2,3	1,8	4,9	3,2	0,0

Fuente: Elaboración propia.

Esta matriz genera los datos, según la hora en la que se solicite la información, para este ejercicio, se generan cuatro escenarios, en donde se contemplan los tiempos de demoras por la restricción vehicular, y los retrasos que impactan el cambio de hora de la salida a ruta. La clasificación de los horarios según la densidad vehicular son los siguientes: rápido de 6 am hasta las 7 am, medio de 7 am a 8:00 am, lenta de 8:00 am a 9:30 am y muy lenta de 9:30 am 11:30 am. Estos datos se obtuvieron de la plataforma de Google Maps, simulando la ruta en los diferentes horarios.

La herramienta en una de sus opciones principales del mapa, expone una opción de “Tráfico en vivo y Trafico Usual” para el caso en mención de escogió “Trafico Usual” donde se pueden establecer fechas y horas en las cuáles se comenzó la ruta y se estimó la densidad del tráfico habitual contemplando datos de densidades anteriores.



Figura 1. Tráfico Usual.

Fuente: Google Maps [8]

Las categorías de “Tráfico Usual” se establecieron de acuerdo a la densidad de tráfico, donde el color establecido por cada una, determina la congestión vehicular en los tramos seleccionados del mapa.

Tabla 5. Densidad de Tráfico.

RAPIDO	MEDIO	LENTA	MUY LENTA
6 A 7 AM	7 A 8:00 AM	8:00 A 9:30 AM	9: 30 A 11:30 AM

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con una matriz de distancias reales, tomadas de un mapa diseñado a partir de las ubicaciones de los clientes, se proponen cuatro escenarios de posibles rutas que se podrían utilizar teniendo en cuenta tres valores de restricción que son capacidades, demanda a atender y ventanas de tiempo. Este cálculo queda pendiente para una siguiente entrega, generando una guía para las rutas alternas y propuestas viables.

Se realizaron cuatro simulaciones para visualizar el tiempo para efectuar las entregas, según los diferentes tipos de densidades.

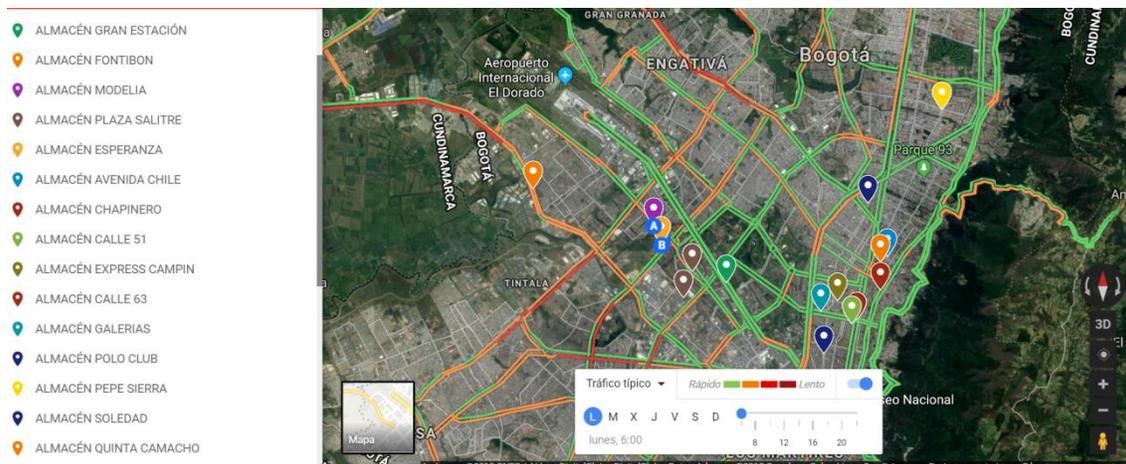


Figura 2. Primer Escenario – Densidad Rápida: Inicio 6 am, hasta 7 am

Fuente: Google Maps

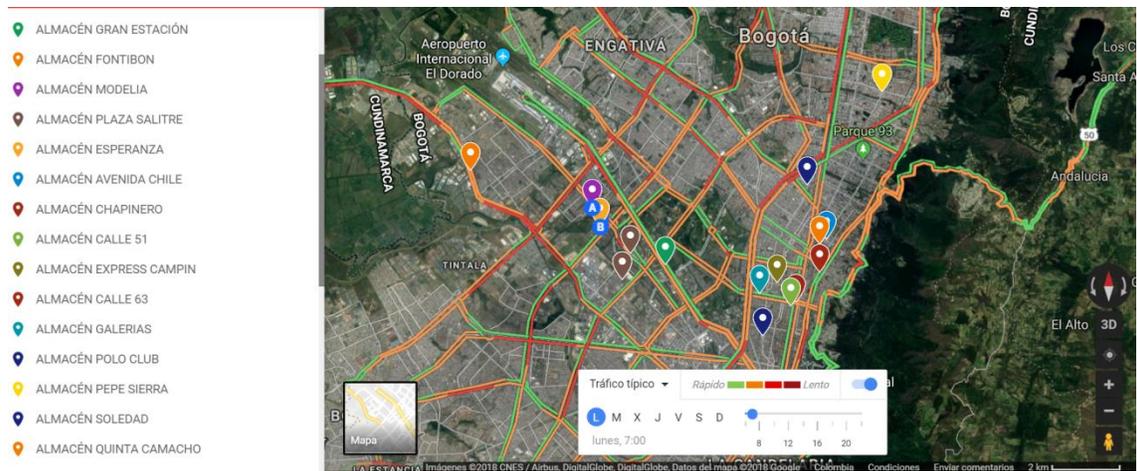


Figura 3. Segundo Escenario – Densidad Media: Inicio 7 am, hasta 8 am.

Fuente: Google Maps

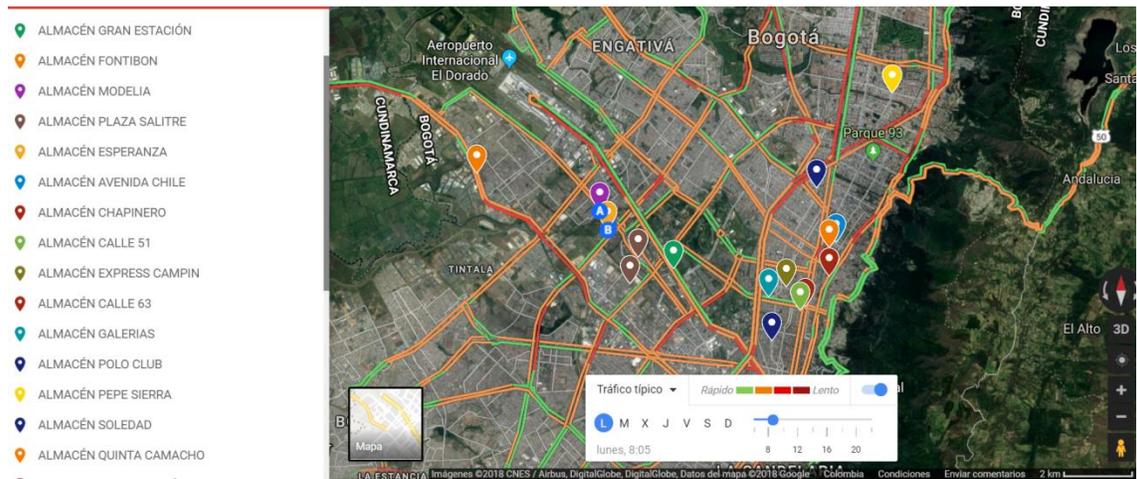


Figura 4. Tercer Escenario – Densidad Lenta: Inicio 8 am, hasta 9:30 am.

Fuente: Google Maps

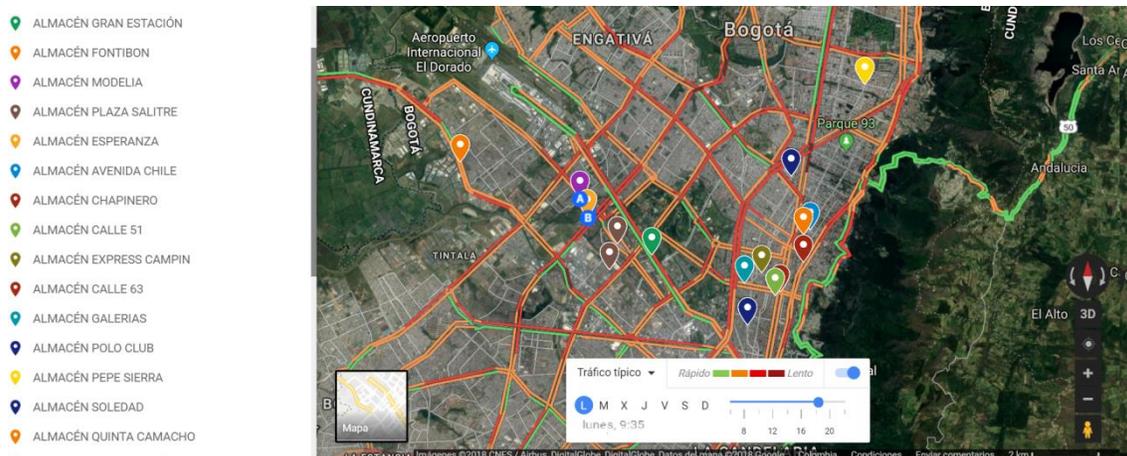


Figura 5. Cuarto Tercer Escenario – Densidad Muy Lenta: Inicio 9:30 am, hasta 11:30 am.

Fuente: Google Maps

Se considera que en un mismo día, la densidad vehicular fluctúa dependiendo en la hora de tránsito y las diferentes vías, por las cuales se desplazan, medir los tramos por horas por desplazamientos sería un ejercicio muy poco factible por la compañía, por tanto se tomaron imágenes de toda la ciudad para calcular la densidad promedio.

Anteriormente, cuando no se había establecido la restricción, la planeación de las rutas de transporte, era determinada por los conductores, que según la experticia de los mismos, realizaban los recorridos por los caminos ya conocidos.

Con la aplicación de la restricción, se busca simular la afectación de la ruta, entendiéndose que un cambio en el horario de circulación del vehículo, también supone en un impacto en el horario de trabajo de los conductores y una importante dilatación en los tiempos de entrega, entendiéndose que la ciudad se congestiona en horarios de alto tráfico, está es una de las principales razones por las que el ejecutivo nacional decide colocar este tipo de restricciones.

Para el ejercicio con la densidad de tráfico rápido, entre las seis de la mañana y las ocho am, los resultados arrojaron que la totalidad de clientes podían ser entregados en 62 minutos, una hora con tres minutos. Para el recorrido con densidad de tráfico medio, comprendida en horarios de seis y media a ocho de la mañana, se calcula que completarían las rutas luego de sesenta y dos minutos de recorrido, aproximadamente una hora y cincuenta y siete minutos. Para la simulación con densidad lenta, en horarios de ocho a nueve y treinta de la mañana, se observa una dilatación considerable en el tiempo, ubicándose en doscientos treinta y cinco minutos, es decir, tres horas con noventa y tres minutos. La simulación se observa aún más crítica, cuando se obtienen los valores con la densidad “Muy Lento”, en la cual se refleja un total en minutos de cuatrocientos dieciséis, es decir, seis horas con noventa y tres minutos.

En total, se obtiene que para la densidad de tráfico “Rápido” las entregas se realizarán en 1:03 min, en densidad de tráfico “medio” se entregó en 1:57 min, para el caso de la

densidad de tráfico “Lento” las rutas se realizarían en 3:93 min y finalmente en densidad de tráfico “Lento” se ejecutaron en 6:63 min.

Esto, sería el resultado final si la densidad de tráfico se considerara constante en cualquiera de sus estados, pero se observa con la plataforma del Google que va fluctuando dependiendo de los horarios en los que se realiza el recorrido, es por esto, que el ejercicio contempla los diferentes horarios y tipos de tráfico.

Para el ejercicio, se contempla una ruta que sale del punto de partida a las 6 am desde el centro de distribución hacia los 15 clientes:

También se consideró realizar las simulaciones según tipo de tráfico, dependiendo el horario de salida, sin restricción (6am) con restricción (8:30am), para poder cuantificar el impacto que tiene la restricción con respecto al tránsito anterior de la ruta.

Tabla 6. Calculo Matriz de Distancias por densidad de Tráfico – Salida 6 am.

			RAPIDO	MEDIO	LENTO	MUY LENTO
			De 6 am Hasta 7 am	De 7 am Hasta 8 am	De 8 am Hasta 9:30 am	De 9:30 am Hasta 11:30 am

Hora de Salida 6 am a Ruta			38 Km	25 Km	10 Km	5 Km
RUTA OPTIMA	Paso #	Puntos de Venta	Tiempo Recorrido 1	Tiempo Recorrido 2	Tiempo Recorrido 3	Tiempo Recorrido 4
CENTRO DE DISTRIBUCION	1	1	0,0	0,0	0,0	0,0
GRAN ESTACION	2	5	1,3	2,0	4,9	9,8
FONTIBON	3	2	1,7	2,6	6,5	12,9
MODELIA	4	6	3,6	5,4	13,5	27,1
PLAZA SALITRE	5	4	0,9	1,4	3,5	7,1
ESPERANZA	6	3	5,9	9,0	22,6	45,1
AVENIDA CHILE	7	12	14,7	22,3	55,8	55,8
CHAPINERO	8	10	0,9	1,4	3,5	7,0
CALLE 51	9	9	1,3	1,9	4,8	9,5
EXPRESS CAMPIN	10	8	0,3	0,4	1,1	2,2
CALLE 63	11	11	1,8	2,7	6,7	13,4
GALERIAS	12	16	1,3	2,0	5,0	10,0
POLO CLUB	13	7	0,4	0,6	1,5	3,0
PEPE SIERRA	14	13	2,7	4,1	10,2	20,4
SOLEDAD	15	14	5,6	8,5	21,2	42,4
QUINTA CAMACHO	16	15	12,7	19,3	48,2	96,5
CENTRO DE DISTRIBUCION	17	1	7,1	10,8	26,9	53,9
MINUTOS			62,1	94,4	235,9	416,1
HORAS			1,0	1,6	3,9	6,9

La distancia total recorrida por el vehículo 1 es
39,3205581394217

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la tabla, como partiendo a las 6am, se encuentra el tráfico rápido hasta las 6:30 am y que en 30 minutos con ese tipo de tráfico y sin considerar ninguna otra variable, era posible entregar 5 clientes de la ruta, para las siguientes entregas se contemplaría desde las 6:30 hasta las 8:30 se considerando 1 hora de reparto en

tráfico medio (25 kilómetros por hora), los 8 clientes faltantes en tráfico medio da por resultado 48,4 minutos.

Los resultados del ejercicio indican que una ruta que comienza su recorrido a las 6 de la mañana demora en las 9 primeras entregas 30 minutos en donde se considera densidad de tráfico rápido y las ultimas 8 entregas las realizarían en tráfico medio en 48 minutos. En resumen, en total se realizarían las entregas en 78,6 minutos.

Para el siguiente ejercicio, en donde se contempla la salida a ruta a las 8:30 am, luego de la restricción vehicular.

Tabla 7. Calculo Matriz de Distancias por densidad de Tráfico – Salida 8:30 am.

			RAPIDO	MEDIO	LENTO	MUY LENTO
			De 6 am Hasta 7 am	De 7 am Hasta 8 am	De 8 am Hasta 9:30 am	De 9:30 am Hasta 11:30 am

<u>Hora de Salida 8:30 am a Ruta</u>			38 Km	25 Km	10 Km	5 Km
RUTA OPTIMA	Paso #	Puntos de Venta	Tiempo Recorrido 1	Tiempo Recorrido 2	Tiempo Recorrido 3	Tiempo Recorrido 4
CENTRO DE DISTRIBUCION	1	1	0,0	0,0	0,0	0,0
GRAN ESTACION	2	5	1,3	2,0	4,9	9,8
FONTIBON	3	2	1,7	2,6	6,5	12,9
MODELIA	4	6	3,6	5,4	13,5	27,1
PLAZA SALITRE	5	4	0,9	1,4	3,5	7,1
ESPERANZA	6	3	5,9	9,0	22,6	45,1
AVENIDA CHILE	7	12	14,7	22,3	55,8	55,8
CHAPINERO	8	10	0,9	1,4	3,5	7,0
CALLE 51	9	9	1,3	1,9	4,8	9,5
EXPRESS CAMPIN	10	8	0,3	0,4	1,1	2,2
CALLE 63	11	11	1,8	2,7	6,7	13,4
GALERIAS	12	16	1,3	2,0	5,0	10,0
POLO CLUB	13	7	0,4	0,6	1,5	3,0
PEPE SIERRA	14	13	2,7	4,1	10,2	20,4
SOLEDAD	15	14	5,6	8,5	21,2	42,4
QUINTA CAMACHO	16	15	12,7	19,3	48,2	96,5
CENTRO DE DISTRIBUCION	17	1	7,1	10,8	26,9	53,9
MINUTOS			62,1	94,4	235,9	416,1
HORAS			1,0	1,6	3,9	6,9

La distancia total recorrida por el vehículo 1 es 39,3205581394217

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos en esta simulación, denotan un importante aumento en el tiempo de circulación a través de todas las entregas, por cuanto el vehículo sale a ruta con tráfico lento y solo alcanza a despachar 5 clientes en 30 minutos, saliendo a las 8:30 am para las 9:00am ya entraría a la densidad de tráfico “Muy lento” y para efectuar las restantes entregas se demoraría 359 minutos en entregar los 11 clientes faltantes y

retornar vacío al centro de distribución, para esta simulación el tiempo total de recorrido serían 416 minutos. Es decir de 7 horas, para las 15 entregas y el retorno al punto de partida.

Comparando los dos escenarios, saliendo a ruta a las 6:00 am, la ruta demora 1:30 min en efectuar todas las entregas, por el contrario, simulando el segundo escenario, saliendo a ruta a las 8:30 am, la ruta demoraría 6:46 minutos en realizar todas las entregas y regresar al punto de partida. Esto, da una diferencia de 5,15 horas que se demoraría la ruta por salir dos horas y media más tarde.

CONCLUSIONES

Para las empresas de consumo masivo de alimentos, el transporte de mercancías es vital para la distribución de sus productos, comercialización y continuidad del negocio, ya que constituye el último y más importante eslabón de la cadena, las entregas finales a clientes mayoristas. Estas entregas, podrían verse afectadas por la aplicación de la nueva restricción vehicular que aplica para la ciudad de Bogotá.

Se encuentra que, en materia de carga pesada, aplica para la ciudad de Bogotá el decreto 593 del 2018 Alcaldía Mayor, en donde se restringe el tránsito de vehículos mayores de 7 toneladas, es decir, vehículos tipo; sencillos, doble troques, patinetas y tractomulas, en los dos sentidos de la avenida calle 13 de lunes a viernes de 6 am a 8 am.

La afectación en tiempos de entrega para una empresa de consumo masivo se midió considerando el escenario anterior de la localidad, en donde se permitía el libre tránsito vehicular a las 6am para todo tipo de vehículos. En ese caso, desde el punto de partida en el centro de distribución y realizando 15 entregas a los clientes con retorno al punto de partida, la duración era de 1:31 minutos, es decir, que un vehículo que comenzaba ruta a las 6am, a las 8am ya había realizado la ruta completa, optimizando el recurso humano y el recurso material de la compañía, también se optimizaban recursos como combustibles y otros que no son objeto de estudio.

Para el segundo escenario simulado, se contempló la salida a ruta a las 8:30 am, en donde se observó que los tiempos se dilataban por ser horario de tráfico de densidades que oscilaban entre “lento” y “muy lento”, el tiempo necesario para realizar la ruta en este horario, se calculó en 6:46 minutos, es decir, 5:15 minutos más que en el escenario de salida a ruta a las 6:00 am. Lo que significa, que una ruta que anteriormente se encontraba entregada a las 8am, ahora con la restricción, esta ruta retornará al centro de distribución sobre las 3:00 pm aproximadamente. Esto supone un impacto considerable en las horas de jornadas de personal, disponibilidad de vehículos, combustible y otros indicadores a evaluar por parte de la empresa de consumo masivo.

REFERENCIAS

- [1] Correa y C. y. Salazar, «Evaluación del efecto de la conducción eficiente en el consumo de combustible en vehículos de transporte de carga pesada usando diseño de experimentos,» *Producción + Limpia*, vol. 5, nº 1, pp. 95-112, 2010.
- [2] Díaz, Galetovic y Sanhueza, «La regulación del transporte de carga en Santiago. Características, evaluación y propuesta,» *Cuadernos de Economía*, vol. 10, nº 119, pp. 5-46, 2003.
- [3] Alcaldía Mayor de Bogotá, «Alcaldía restringe transporte de carga por la calle 13 en Bogotá,» Bogotá, 2018.
- [4] C. Rodríguez, «Análisis del transporte de carga en Colombia para crear estrategias que permitan alcanzar estándares de competitividad e infraestructura internacional. Trabajo de Grado,» Universidad del Rosario, Bogotá, 2013.
- [5] Ministerio de Transporte, «mintransporte.gov.co,» 08 2018. [En línea].
- [6] A. M. d. B. DC, «Decreto 593 de 2018,» 17 Octubre 2018. [En línea]. Available: <http://www.bogota.gov.co/movilidad/alcaldia-restringe-transporte-de-carga-por-la-calle-13-en-bogota>.
- [7] Y. Piqueras, *Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW. Tesis*, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos..
- [8] D. Castro, «Google Maps,» [En línea]. Available: <https://www.google.com/maps>. [Último acceso: 2 12 2018].
- [9] S. y. G. Prato, «Ruteo de Vehículos desde un Centro de Distribución a una Línea de,» *Ingeniare*, vol. 10, nº 18, pp. 11-21, 2015.
- [10] S.-. Nossa, *Propuesta de un modelo de ruteo basado en programación dinámica aplicado a una empresa de consumo masivo*, Bogotá: Universidad Militar de Nueva Granada, 2016.
- [11] A. Benito, *Problemas de rutas de vehículos. Modelos, aplicaciones logísticas y*

] *métodos de resolución. Tesis en Ingeniería*, Valladolid: Universidad de Valladolid, 2015.

[12 A. M. d. B. DC, «Decreto 690 de 2013,» 31 diciembre 2013. [En línea]. Available:

] <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjurMantenimiento/normas/Norma1.jsp?i=56330>

.