



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la

Producción

" Diseño de ruta para vehículos con puntos coincidentes de origen y destino para una fábrica de productos alimenticios."

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Examen Complexivo

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Presentado por:

Santiago Javier Costa Lertora

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

A mi padre y a mi madre que me dieron el regalo de la educación.

A mi hermana que ha estado siempre presente para apoyarme.

A mi esposa que me brindó su mano y colaboró en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MI HERMANA

A MI ESPOSA

A MI FAMILIA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Edwin Desintonio L.
VOCAL

Dr. Marcos Buestán B.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Santiago Javier Costa Lertora

RESUMEN

El presente trabajo diseña la estrategia del transporte para abastecer a 3 puntos de ventas dentro de la ciudad de Guayaquil, desde una nueva fábrica ubicada en la zona industrial de la ciudad. Se evalúa cada zona a ser despachada teniendo en cuenta restricciones legales, de capacidad del transporte, costos variables y fijos debido a que la transportación es controlada y administrada por la compañía. Para el diseño de la ruta de los vehículos se utiliza la técnica del agente viajero, la cual considera un recorrido completo que conecte todos los puntos de venta de una red, visitándolos tan solo una vez y volviendo al punto de partida, y que además minimice la distancia total de la ruta. Mediante la implementación de la ruta de los vehículos se pudo determinar tiempos promedio del ruteo, incrementó la disponibilidad de los transportes para realizar compras de materia prima esencial y se generó una base estadística que ayuda a mantener una cultura de mejora continua.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	6
ÍNDICE GENERAL	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	9
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES	12
1.1. Antecedentes	12
1.2. Marco Teórico	13
1.2.1 Puntos coincidentes de origen y destino	13
1.2.2 Método de barrido	14
CAPÍTULO 2	
2. DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA EMPRESA	15
2.1. Informe General	15
2.2. Análisis de la situación actual	15
2.3. El problema	19
CAPÍTULO 3	
3. DISEÑO DE RUTAS DE LOS VEHÍCULOS	21

3.1.	Capacidades de los vehículos	21
3.2.	Costos fijos y variables	24
3.3.	Ruteo vehicular	26
CAPÍTULO 4		
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
4.1.	Conclusiones	42
4.2.	Recomendaciones	43
ANEXOS		
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Costos Camión (software)	29
FIGURA 2: Resolución ruta camión	30
FIGURA 3: Costos furgoneta ruta única (software)	31
FIGURA 4: Resolución ruta única furgoneta	32
FIGURA 5: Recorrido opción 1	33
FIGURA 6: Ruta 1 de la opción 2	36
FIGURA 7: Costos furgoneta dos ruta (software)	37
FIGURA 8: Resolución dos rutas furgoneta	37
FIGURA 9: Ruta 2 de la opción 2	38

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Demanda diaria promedio	16
TABLA 2: Demanda máxima	16
TABLA 3: Capacidad de la furgoneta	17
TABLA 4: Recorrido actual	18
TABLA 5: Productos por empaque	22
TABLA 6: Cantidad de empaques (demanda promedio)	22
TABLA 7: Cantidad de empaques (mayor demanda)	23

TABLA 8: Capacidad del camión	24
TABLA 9: Costos fijos	25
TABLA 10: Costos variables	25
TABLA 11: Distancias entre puntos	26
TABLA 12: Costos variables por distancias de cada vehículo	26
TABLA 13: Rutas opción 1	28
TABLA 14: Costos de ruta única	33
TABLA 15: Recorrido opción 1	34
TABLA 16: Opciones de arreglo de la furgoneta	34
TABLA 17: Opciones de arreglo del camión	35
TABLA 18: Costos dos rutas	38
TABLA 19: Rutas opción 2	39
TABLA 20: Recorridos opción 2	39
TABLA 21: Costos por falta de existencias	40

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo abarca principalmente lo siguiente:

En el capítulo 1 se hablan generalidades de la empresa en cuestión, dónde está ubicada, cómo es el funcionamiento, los locales que posee y los productos que elabora. Además se indican los aspectos teóricos que se usan en el estudio.

En el capítulo 2 se realiza el diagnóstico de la situación actual de la compañía, se detalla la demanda que debe despachar, el vehículo del que es propietaria y la ruta que recorre. También se describe el problema que posee, motivo por el cual se lleva a cabo el presente análisis.

En el capítulo 3 se miden las capacidades de los vehículos disponibles, los costos fijos y variables en los que ellos incurren, así como el desarrollo del diseño de dos opciones de rutas para distribuir los productos a todos los puntos de venta.

Finalmente en el capítulo 4 se darán las respectivas conclusiones y recomendaciones del sistema propuesto.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

La compañía objeto del presente trabajo, a quien llamaremos “Empresa XYZ”, se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil y se dedica a la elaboración de productos alimenticios de consumo inmediato, los cuales eran distribuidos a dos puntos de venta propios de la empresa.

La fábrica donde se elaboran los productos está ubicada en el centro de la ciudad. Uno de los puntos de venta se encuentra localizado en el mismo sitio donde está la fábrica, mientras que el otro local está ubicado en la zona norte de Guayaquil.

El local del centro es el que mayor cantidad de productos demanda pero al estar en un solar contiguo a la fábrica no existen problemas en el traslado de los mismos, mientras que el local del norte necesita de un medio de transporte para poder distribuirle los productos.

Con el afán de crecer, la compañía ha decidido abrir más locales y vender sus productos a establecimientos no necesariamente propios, además de invertir en la construcción de una fábrica más espaciosa y adecuada para sus labores ya que el lugar actual donde se producen sus alimentos es limitado en espacio, la

distribución interna de la planta se ha ido improvisando mientras crecía la producción y no se ajusta del todo a las nuevas normas de manufactura y calidad que desearía tener la empresa, además que al estar ubicada en el centro hay muchas limitaciones vehiculares que restringen las funciones de abastecimiento de materia prima.

A finales del año 2014 la empresa abre una sucursal más en el norte de la ciudad y comienza la construcción de la fábrica la cual se levanta en un terreno propiedad de la compañía en la zona industrial de Guayaquil.

La distribución de los productos a los puntos de venta se hacía con un camión propio pero luego debido a restricciones de tránsito se compró una furgoneta con la cual se visita dos veces al día cada uno de los tres locales.

Además de cumplir con el traslado de los alimentos a las sucursales, también se debe transportar cierta materia prima, como por ejemplo el azúcar, para abastecer a la fábrica. Los números sacos de azúcar no pueden ser transportados en la furgoneta por restricciones de peso y de tiempo, por lo que se contrata el servicio.

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Puntos coincidentes de origen y destino.

Este tipo de problema de diseño de rutas tiene como requisito que la vuelta no está completa hasta que el vehículo regresa al punto de partida. El objetivo es hallar la secuencia en que los puntos deban visitarse, de manera que se pueda reducir el tiempo o la distancia total del recorrido.

Este diseño de problema de ruta por lo general se lo conoce como problema del “agente viajero”. Se han propuesto números métodos para resolverlo, sin embargo los procedimientos de solución cognoscitiva y heurística han sido las mejores opciones.

1.2.2. Método de barrido

Uno de los enfoques que se han sugerido para manejar estos problemas es el método “de barrido”. En este método se asignan las paradas a los vehículos y luego se traza una línea desde el punto de partida para hacerla girar en cualquier sentido hasta intersectar las paradas, mientras la capacidad cumpla con la cantidad demandada se continúa el barrido hasta tocar cada punto y completar las rutas.

CAPÍTULO 2

2. DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA EMPRESA

2.1. Informe General

Actualmente la empresa la empresa debe abastecer con sus productos a dos sucursales ubicadas en el norte y una matriz que se encuentra ubicada en el centro en el mismo sitio de la fábrica.

Los productos que elabora la fábrica son los siguientes:

- Pan molde
- Bizcochos
- Cake
- Dulces
- Galletas
- Pasta de hojaldre
- Planchas de bizcocho

2.2. Análisis de la situación actual de la empresa

Los primeros cinco son productos finales para el consumo del cliente, mientras que los dos últimos, es decir, la pasta de hojaldre y las planchas de bizcocho, son productos intermedios que los puntos de venta pueden utilizar para realizar

otras elaboraciones. Para el estudio, se representan los productos por unidad, excepto las galletas que se representan por cajas.

La demanda de los locales es variable siendo los días entre semana más bajos que los fines de semana y feriados. A continuación mostramos una tabla con los distintos locales y la demanda promedio.

TABLA 1: Demanda diaria promedio

	Demanda Diaria Promedio (por unidad)						
Locales	Pan	Pasta hojaldre	Bizcochos	Cakes	Dulces	Galletas	Planchas
Centro	40	10	62	32	3398	23	50
Urdesa	16	5	27	7	202	5	6
Garzota	5	2	11	6	207	1	3
TOTAL	61	17	100	45	3807	29	59

Hay mucha diferencia entre la demanda de un día cualquiera y la demanda de un día de fin de semana o feriado, por lo que mostramos también la demanda máxima de cada local en la siguiente tabla.

TABLA 2: Demanda máxima

	Demanda Máxima (por unidad)						
Locales	Pan	Pasta hojaldre	Bizcochos	Cakes	Dulces	Galletas	Planchas
Centro	50	12	371	47	9200	30	70
Urdesa	30	7	45	10	450	7	10
Garzota	10	3	40	10	300	4	8
TOTAL	90	22	456	67	9950	41	88

En las tablas podemos observar también que la demanda del local del centro es mucho mayor que la demanda de los locales de Urdesa y Garzota.

La capacidad de la furgoneta utilizada para trasladar los productos la mostramos a continuación:

TABLA 3: Capacidad de la furgoneta

Capacidad furgoneta			
	Arreglo 1	Arreglo 2	Arreglo 3
Bandejas	24	48	64
Gavetas	8	4	0

Como se puede apreciar en la tabla, la capacidad de la furgoneta no es rígida, pues puede variar según cuantas perchas y gavetas se quieran colocar.

Las perchas y gavetas pueden distribuirse de tres formas. En el arreglo #1 se colocan 8 gavetas y una percha. En arreglo #2 se colocan 4 gavetas y 2 perchas. Por último en el arreglo #3 se disponen 3 perchas, 2 grandes y una más pequeña y no entraría ninguna gaveta. En cada percha grande entran 24 bandejas, mientras que en la percha pequeña caben 16 bandejas.

Para suministrar a los locales, la empresa realiza dos viajes al día pasando por cada punto, un viaje en la mañana y otro por la tarde. Se lo hace de esta forma porque los productos son de consumo inmediato, no contienen preservantes ni

van empaquetados. A lo largo del día, mientras se van elaborando se van trasladando al punto de venta.

La furgoneta se la emplea solo para abastecer a los dos locales del norte y comparando las tablas de demanda y capacidad se puede observar que la furgoneta está siendo subutilizada y alcanza perfectamente tanto como para la demanda promedio diaria como para las demandas máximas en fines de semana y feriados.

A continuación se detalla el recorrido realizado por el vehículo:

TABLA 4: Recorrido actual

Rutas		(en minutos)		
Origen	Destino	Salida	T. de viaje	T. de descarga
garage	urdesa	6h30	21	15
urdesa	centro	7h19	9	131
centro	urdesa	9h50	14	30
urdesa	garzota	10h35	21	20
garzota	centro	11h16	75	129
centro	urdesa	14h39	15	14
urdesa	garzota	15h13	17	14
garzota	garage	15h44	24	5
		TOTAL	196	358

El vehículo parte de un garaje al norte de la ciudad para luego dirigirse hacia la sucursal de Urdesa. Aquí recoge bandejas y gavetas usadas el día anterior. También se le entrega una orden de pedido. Después de esto se dirige al

centro, donde espera a que esté listo parte del pedido. Así mismo, recibe la orden de pedido del local de Garzota. Una vez que esté listo lo que lleva en el primer viaje, embarca los productos y los traslada a ambas sucursales, donde esta vez solo descarga.

En el trayecto de vuelta al centro aprovecha para realizar alguna compra de materia prima. Una vez en el centro espera nuevamente a que estén elaborados los alimentos para realizar el segundo viaje. Muchas veces existen demoras lo que hace que llegue tarde a los puntos de venta del norte causando molestias en ellos y provocando quejas. Por último, regresa al garaje después de haber suministrado los alimentos a las sucursales.

Para provisionarse de ciertas materias primas, como los sacos de azúcar, la empresa contrata el servicio de transporte, el cual cobra 20 dólares por traslado. Este se realiza una vez a la semana.

En total se toma 196 minutos circulando por las rutas establecidas. Estas rutas se las estableció empíricamente según las necesidades que iban surgiendo.

2.3. El Problema

Como se llevan realizando las labores de distribución no hay mayores inconvenientes excepto cuando se demora la fábrica en la elaboración de los alimentos. El problema surgirá una vez se haya terminado de construir la nueva

planta lejos del centro y incrementándose un nuevo punto de venta, justamente el de mayor demanda.

Una vez funcionando el nuevo centro de fabricación ubicado en la zona industrial de Guayaquil, el reto será calcular la manera de suministrar a los tres puntos de venta cumpliendo con las ventanas de entrega las cuales vienen siendo alrededor de las 10h00 en el primer viaje y alrededor de las 15h00 en el segundo viaje.

Por tal motivo se plantea un estudio para determinar las rutas a tomar y los vehículos a utilizar garantizando la disponibilidad de los productos y las entregas a las horas señaladas por los locales, observando también los costos de transportación.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE RUTAS DE LOS VEHÍCULOS

El caso en estudio es uno de puntos coincidentes de origen y destino, ya que los vehículos partirán desde la fábrica para luego visitar las sucursales y regresar al mismo punto de partida, que es la fábrica. Para el diseño de la ruta de los vehículos se utiliza la técnica del agente viajero, la cual usa procedimientos de solución cognoscitiva y heurística como mejores alternativas a métodos computarizados.

Al problema del agente viajero le vamos a añadir restricciones reales como: 1) cada parada tiene un volumen que debe ser recogido además de entregado; 2) se analizan vehículos con distintas capacidades; 3) las paradas permiten entregas a ciertas horas del día.

3.1. Capacidades de los vehículos

Analizamos primero la forma en que se trasladan los alimentos y de esto obtuvimos que de los 7 tipos de productos, 4 son empacados para el traslado en bandejas y 3 en gavetas. A continuación mostramos una tabla donde se aprecia cuantos productos entran en cada tipo de empaque:

TABLA 5: Productos por empaque

Productos por empaque (unidades por empaque)							
Tipo de empaque	bandeja				gaveta		
Tipo de producto	dulces	bizcochos	hojaldre	planchas	pan	cakes	galletas
Cantidad	80	12	1	5	16	16	30

Dividiendo la demanda promedio para la cantidad de producto que entra en cada empaque tenemos la cantidad de empaques a despachar. Enseguida la tabla que muestra esta cantidad:

TABLA 6: Cantidad de empaques (demanda promedio)

cantidad de empaques							
tipo de empaque	bandeja				gaveta		
tipo de producto	dulces	bizcochos	hojaldre	planchas	pan	cakes	galletas
cantidad	47.59	8.33	17.00	11.80	3.81	2.81	0.97
cantidad entera	48	9	17	12	4	3	1
total	86 bandejas				8 gavetas		

Por lo tanto, tenemos que según la demanda promedio se deben despachar 86 bandejas y 8 gavetas al día. Así mismo, hay que recolectar igual cantidad de bandejas y gavetas vacías.

Ahora, dividiendo la demanda máxima para la cantidad de producto que entra en cada empaque tenemos la cantidad de empaques a despachar. Enseguida la tabla que muestra esta cantidad:

TABLA 7: Cantidad de empaques (mayor demanda)

Cantidad de Empaques (Demanda Máxima)							
tipo de empaque	bandeja				gaveta		
tipo de producto	dulces	biscochos	hojaldre	planchas	pan	cakes	galletas
cantidad	124.38	38.00	22.00	17.60	5.63	4.19	1.37
cantidad entera	125	38	22	18	6	5	2
TOTAL	203 bandejas				13 gavetas		

Por lo tanto, tenemos que según la demanda máxima se deben despachar 203 bandejas y 13 gavetas al día. Así mismo, hay que recolectar igual cantidad de bandejas y gavetas vacías.

Observando las tablas nos damos cuenta que la furgoneta es capaz de transportar solo la demanda promedio y no hay mucha holgura. Para trasladar la demanda máxima habría que utilizar otro sistema, ya sea con otro vehículo o contratando el servicio.

Recordemos que la empresa posee otro vehículo. Este vehículo es un camión que dejó de usarse porque las leyes de tránsito cambiaron y el conductor no poseía la licencia de conducción adecuada para manejar dicho camión. La nueva reglamentación disponía que para camiones mayores a 1.5 toneladas se requería licencia tipo C, además al ser más grande resultaba más difícil encontrar parqueo para las esperas largas en que incurría mientras esperaba el producto elaborado, esto ocasionaba multas de tránsito. A continuación se presenta la tabla de capacidad para el vehículo pesado.

TABLA 8: Capacidad del camión

Capacidad camión			
	Arreglo 1	Arreglo 2	Arreglo 3
Bandejas	72	144	192
Gavetas	24	12	0

Podemos observar que las capacidades del camión cumplen con los requisitos de los puntos de venta inclusive en los días de demanda máxima.

3.2. Costos Fijos y Variables

Para establecer el valor de los fletes en la resolución del problema planteado se tomaron en cuenta los diferentes costos fijos y variables asociados al tipo de vehículo. El costo del vehículo no se toma en cuenta debido a que ya es propiedad de la empresa.

Costos Fijos.-

Los aspectos necesarios para el cálculo de los costos fijos son: matrícula, seguros, sueldo del chofer y mantenimiento anual. Se detallan los costos en la siguiente tabla, incluido el costo por cada uno de los 624 viajes anuales:

TABLA 9: Costos fijos

Costos Fijos	Camión	Furgoneta
Matrícula	147.76	375
Seguro	450	675
Sueldo	4404.36	4404.36
Mantenimiento	600	900
Costo Anual	\$ 5,602.12	\$ 6,354.36
Costo por viaje	\$ 8.98	\$ 10.18

Costos Variables.-

Los costos variables considerados para este estudio son: consumo de combustible, neumáticos, lubricantes y filtros. Se detallan los costos en la siguiente tabla:

TABLA 10: Costos variables

Costos Variables	Camión	Furgoneta
Combustible	0.0650	0.0650
Llantas	0.0125	0.0106
Lubricantes	0.0445	0.0445
Filtros	0.0600	0.0075
Costo total (\$/km)	0.1820	0.1276

Para hallar los costos variables incurridos en ir de un punto a otro multiplicamos las distancias por el costo variable de cada vehículo. A continuación presentamos una tabla con las distancias y luego una tabla con los costos variables por distancias:

TABLA 11: Distancias entre puntos

Distancias (Km.)	Fábrica	Urdesa	Garzota	Centro
Fábrica	0	10.7	9.4	23.7
Urdesa	11.5	0	5.2	4.5
Garzota	11.6	6.4	0	7.2
Centro	15.2	4.7	6.4	0

TABLA 12: Costos variables por distancias de cada vehículo

Costo variables por distancias (\$)				
Camión	Fábrica	Urdesa	Garzota	Centro
Fábrica	0.00	1.95	1.71	4.31
Urdesa	2.09	0.00	0.95	0.82
Garzota	2.11	1.16	0.00	1.31
Centro	2.77	0.86	1.16	0.00
Furgoneta	Fábrica	Urdesa	Garzota	Centro
Fábrica	0.00	1.37	1.20	3.02
Urdesa	1.47	0.00	0.66	0.57
Garzota	1.48	0.82	0.00	0.92
Centro	1.94	0.60	0.82	0.00

3.3. Ruteo Vehicular

El problema del agente viajero puede ser formulado por la programación lineal de enteros donde la función objetivo Z es minimizar el costo de la ruta. Por lo tanto:

$$Z = \min \sum_{i=0}^n \sum_{j \neq i, j=0}^n c_{ij} x_{ij}$$

Donde x_{ij} es igual a 1 si se visita la ciudad j después de visitar la ciudad i , o es igual a 0 si no se visita la ciudad j después de visitar la ciudad i . c_{ij} es el costo que se incurre al ir de la ciudad i a la ciudad j . N son las distintas ciudades, siendo 0 la ciudad de origen y fin.

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad i, j = 0, \dots, n$$

$$\sum_{i=0, i \neq j}^n x_{ij} = 1 \quad j = 0, \dots, n$$

$$\sum_{j=0, j \neq i}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, n$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad 1 \leq i \neq j \leq n.$$

u_i = número real arbitrario

Estas restricciones garantizan que se llegue a cada ciudad exactamente una vez, se sale de cada ciudad una vez y que solo un camino cubra todas las ciudades y no dos o más caminos disjuntos cubran conjuntamente todas las ciudades.

Método del barrido

Para resolver el caso de puntos coincidentes utilizamos el método del barrido, el cual consta de dos etapas: en la primera, las paradas se asignan a los vehículos; en la segunda se determina la secuencia de las paradas.

Como vimos anteriormente, para un día promedio se puede utilizar cualquiera de los dos vehículos disponibles.

Para determinar la secuencia de las paradas, primero debimos localizarlas sobre un mapa, incluyendo el punto de partida. Mediante datos obtenidos en Google Earth pudimos ubicar geográficamente los puntos de venta y la fábrica.

A continuación se trazó una línea recta desde la fábrica, que es el punto de partida y se la hizo girar contrario a las manecillas del reloj hasta ir tocando cada parada. Como los vehículos tienen suficiente espacio y no se excede su capacidad, entonces las tres paradas forman parte de la misma ruta. Este arreglo permitió que se lograra la sugerida “gota de lágrima”.

Se puede también construir rutas empezando por la parada más lejana al punto de partida y luego trabajar de regreso hacia este mismo punto.

Presentamos una tabla indicando los kilómetros y los minutos que toma recorrer ambas secuencias:

TABLA 13: Rutas opción 1

Opciones de ruta						km	min	
1	fábrica	centro	urdesa	garzota	fábrica	45.86	75	Ruta local más lejano
2	fábrica	garzota	centro	urdesa	fábrica	33.96	68	Ruta lágrima

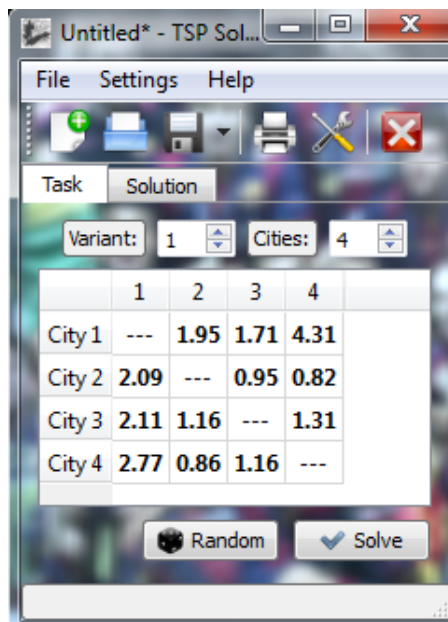
Nos damos cuenta que la ruta con la forma de lágrima es la mejor, pues tiene menor kilometraje y se la recorre en menor tiempo.

Software

Hallamos la ruta de menor costo usando un programa que resuelve el problema del agente viajero utilizando un algoritmo de Ramificación y Acotación. Para esto ingresamos una matriz donde se indica el costo incurrido al ir de una ciudad a otra. Lo sacamos de la tabla de costos variables por distancia de cada vehículo. De esta manera, city 1 es la fábrica; city 2, urdesa; city 3, garzota; city 4, el centro.

Primero usamos los costos del camión:

FIGURA 1: Costos Camión (software)



The screenshot shows a software window titled "Untitled* - TSP Sol...". It has a menu bar with "File", "Settings", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations and solving. The main area has two tabs: "Task" and "Solution". Under "Task", there are two dropdown menus: "Variant:" set to "1" and "Cities:" set to "4". Below these is a cost matrix table with 4 columns and 4 rows. The columns are labeled 1, 2, 3, 4 and the rows are labeled City 1, City 2, City 3, City 4. The diagonal elements are dashes (---). The off-diagonal elements are numerical values representing costs. At the bottom of the window, there are two buttons: "Random" and "Solve".

	1	2	3	4
City 1	---	1.95	1.71	4.31
City 2	2.09	---	0.95	0.82
City 3	2.11	1.16	---	1.31
City 4	2.77	0.86	1.16	---

FIGURA 2: Resolución ruta camión

Variant #1 Solution

Step #1

```

--- 0.24 0 2.60
0.32 --- 0.13 0
0 0 --- 0.15
0.96 0 0.30 ---

```

Selected route with (1;3) part.

Step #2

```

--- --- --- ---
0.32 --- --- 0
--- 0 --- 0.15
0.96 0 --- ---

```

Selected route with (4;2) part.

Step #3

```

-----
0 -----
----- 0
-----

```

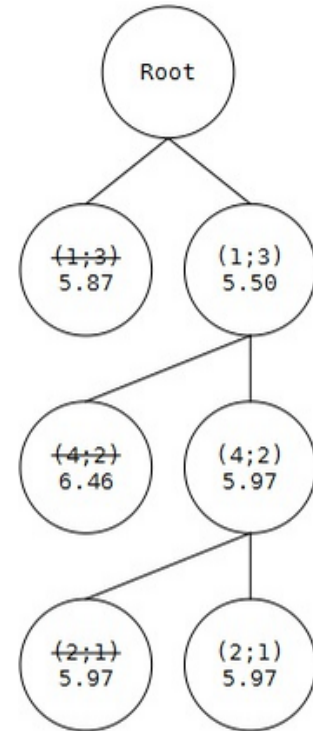
Selected route with (2;1) part.

1 alternate candidate for branching: (3;4).

Resulting path:

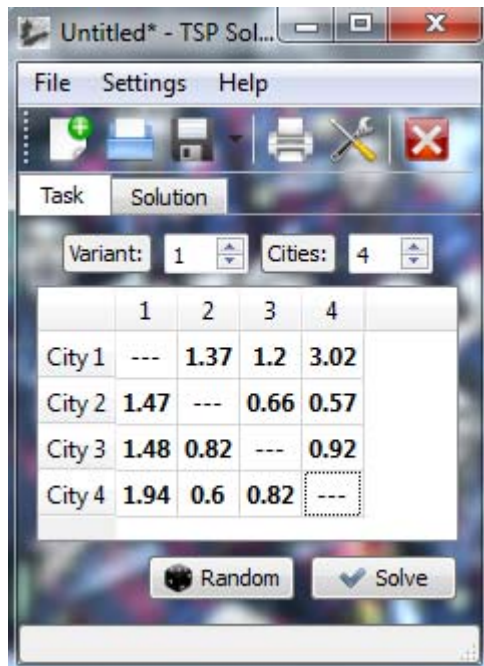
City 1 -> City 3 -> City 4 -> City 2 -> City 1

The price is 5.97 units.



Ahora usamos los costos de la furgoneta:

FIGURA 3: Costos furgoneta ruta única (software)



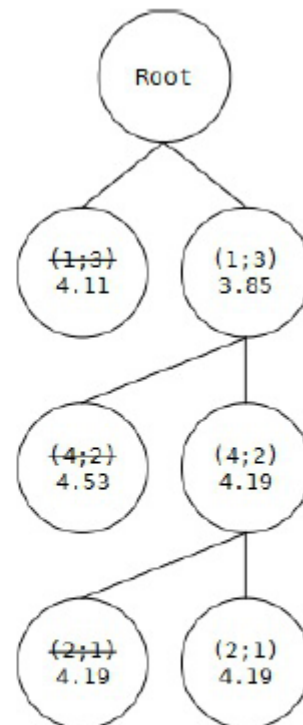
	1	2	3	4
City1	---	1.37	1.2	3.02
City2	1.47	---	0.66	0.57
City3	1.48	0.82	---	0.92
City4	1.94	0.6	0.82	---

FIGURA 4: Resolución ruta única furgoneta

```

Variant #1 Solution
Step #1
  --- 0.17 0 1.82
0.24 --- 0.09 0
  0 0 --- 0.10
0.68 0 0.22 ---
Selected route with (1;3) part.
Step #2
-----
0.24 --- --- 0
  --- 0 --- 0.10
0.68 0 --- ---
Selected route with (4;2) part.
Step #3
-----
0 -----
----- 0
-----
Selected route with (2;1) part.
1 alternate candidate for branching: (3;4).
Resulting path:
  City 1 -> City 3 -> City 4 -> City 2 -> City 1
The price is 4.19 units.

```



A través del software podemos confirmar que la ruta adecuada es la misma que elegimos anteriormente:

Fábrica \Rightarrow Garzota \Rightarrow Centro \Rightarrow Urdesa \Rightarrow Fábrica

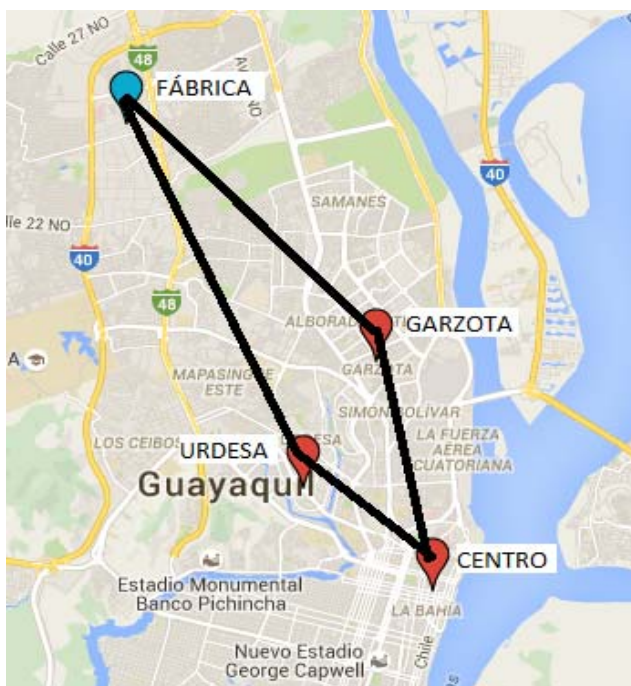
Los costos totales de esta ruta los mostramos a continuación:

TABLA 14: Costos de ruta única

Costos (\$)	c.var x ruta	c.fijo x ruta	c. tot. x ruta	Costo anual
Camión	5.97	8.98	14.95	\$ 9,328.80
Furgoneta	4.19	10.18	14.37	\$ 8,966.88

El recorrido de esta ruta única quedaría de la siguiente forma:

FIGURA 5: Recorrido opción 1



El recorrido del vehículo desde la fábrica a cada punto de venta y de regreso a la fábrica sería el que se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 15: Recorrido opción 1

Rutas				
Origen	Destino	Salida	(En minutos)	
			T. de viaje	T. de descarga
fábrica	garzota	9h50	26	20
garzota	centro	10H36	26	30
centro	urdesa	11h32	20	30
urdesa	fábrica	12h22	23	75
fábrica	garzota	14h05	22	14
garzota	centro	14h41	22	20
centro	urdesa	15h23	18	14
urdesa	fábrica	15h55	26	5
		TOTAL	183	208

Podemos ver que se cumplen con las ventanas horarias de los locales en los despachos de la mañana y la tarde.

Ahora bien, si se usa la furgoneta sería solo para los días promedio, que podrían ser de lunes a jueves no festivos y el camión se lo usaría para los días de demanda máxima, que pueden ser los viernes, sábados y festivos.

Una segunda opción para este tipo de recorrido sería usar el camión como único vehículo, todos los días de la semana, ya que posee una capacidad suficiente para cualquier demanda.

TABLA 16: Opciones de arreglo de la furgoneta

Furgoneta	viaje 1	viaje 2	Total
Opción 1	24	62	86 bandejas
	8	0	8 gavetas
Opción 2	48	38	86 bandejas
	4	4	8 gavetas

TABLA 17: Opciones de arreglo del camión

Camión	viaje 1	viaje 2	Total
Opción 1	72	131	203 bandejas
	13	0	13 gavetas
Opción 2	144	59	203 bandejas
	12	1	13 gavetas

En las tablas anteriores vemos las opciones de distribución de los productos dentro de los vehículos para cumplir con el traslado de las cantidades demandadas en bandejas y gavetas, dando dos opciones para cada viaje. En la tabla de la furgoneta se presenta según la demanda promedio y en la del camión según la demanda máxima.

Estas opciones no dan mucha holgura para realizar ciertas compras de materia prima, como los sacos de azúcar y tampoco hay mucho espacio para demoras, por lo que podría haber problemas en la calidad del servicio al realizar entregas fuera de las ventanas horarias. Debido a estos motivos es necesario plantear una alternativa, esta sería usar los dos vehículos simultáneamente.

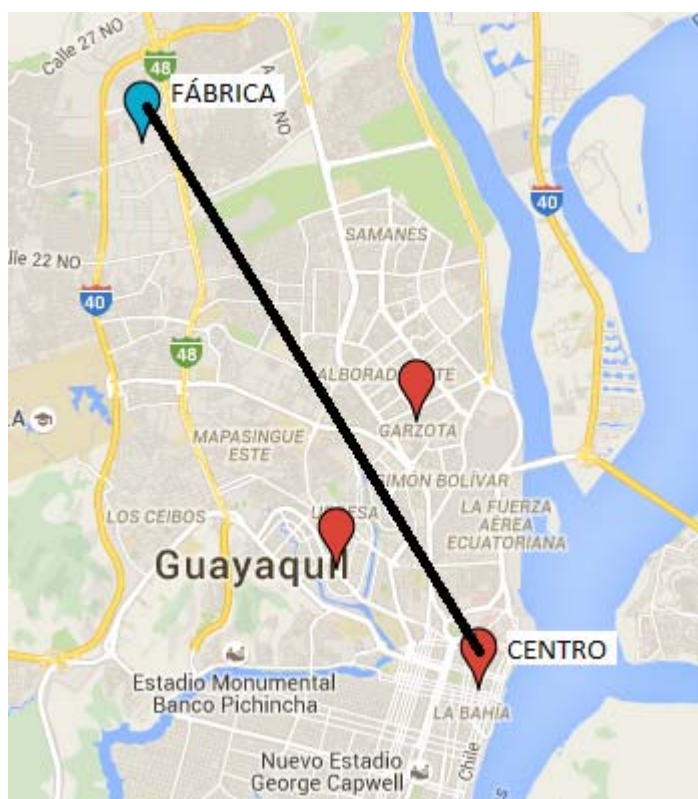
Para la ruta del camión elegimos el local del centro de la ciudad, el cual es el más alejado de la fábrica y que además es el punto de venta de mayor demanda.

Para la furgoneta elegimos los dos locales del norte, que están más cercanos a la fábrica y tienen menores demandas.

De esta manera estamos cumpliendo con las recomendaciones dadas en la teoría, esto es: una ruta para el local más lejano y otra ruta para los más cercanos, igualmente le estamos dando una forma de lágrima a la ruta de la furgoneta.

La ruta del camión sería de la fábrica al centro y de regreso a la fábrica.

FIGURA 6: Ruta 1 de la opción 2



La ruta de la furgoneta, usando el software sería:

Fábrica ⇌ Garzota ⇌ Urdesa ⇌ Fábrica

FIGURA 7: Costos furgoneta dos ruta (software)

	1	2	3
City 1	---	1.37	1.2
City 2	1.47	---	0.66
City 3	1.48	0.82	---

FIGURA 8: Resolución dos rutas furgoneta

Variant #1 Solution
 Step #1
 --- 0.17 0
 0.15 --- 0
 0 0 ---
 Selected route with (1;3) part.
 1 alternate candidate for branching: (3;2).
 Step #2

 0 -----
 --- 0 ---
 Selected route with (2;1) part.
 1 alternate candidate for branching: (3;2).
 Optimal path:
 City 1 -> City 3 -> City 2 -> City 1
 The price is 3.49 units.

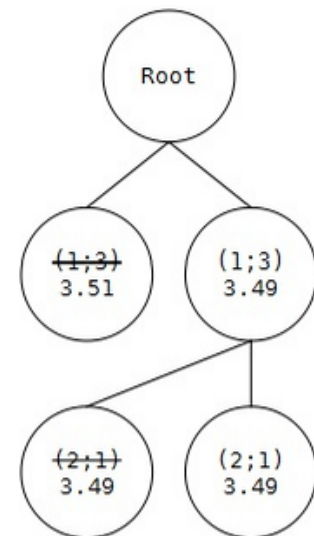
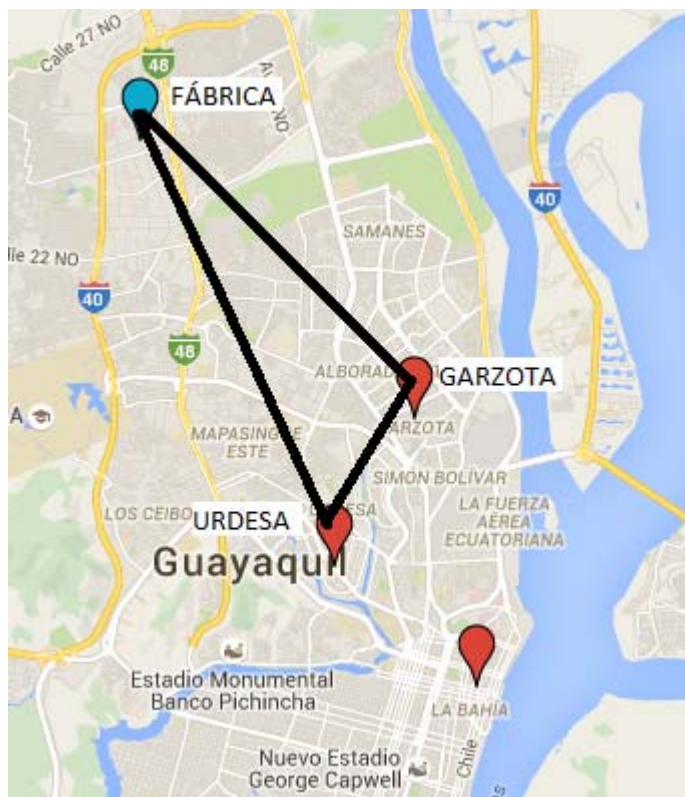


FIGURA 9: Ruta 2 de la opción 2



El costo de ambas rutas sería el siguiente:

TABLA 18: Costos dos rutas

Ruta 1 Camión			Ruta 2 Furgoneta				
c.var x ruta	c.fijo x ruta	c. tot. x ruta	c.var x ruta	c.fijo x ruta	c. tot. x ruta	Costo T. dos rutas	Costo anual
7.08	8.98	16.06	3.49	10.18	13.67	29.73	\$18,551.52

Con esta nueva opción de rutas, se consigue asegurarse el cumplir con los despachos en los horarios deseados, además de que queda tiempo disponible para realizar la compra de los sacos de azúcar con el camión, el cual está

capacitado para transportar esa carga y ya no sería necesario contratar el servicio.

Presentamos una tabla con las dos rutas, sus kilómetros y minutos:

TABLA 19: Rutas opción 2

Vehículos	Rutas			km	min
camión	fábrica	centro	fábrica	40	56
furgoneta	fábrica	garzota	urdesa	29	55

A continuación vemos los recorridos de estas rutas en el primer viaje:

TABLA 20: Recorridos opción 2

Rutas			(En minutos)	
Origen	Destino	Salida	T. de viaje	T. de descarga
camión				
fábrica	centro	9h50	40	40
centro	fábrica	11h10	40	
furgoneta				
fábrica	garzota	9h50	26	20
garzota	urdesa	10h36	20	30
urdesa	fábrica	11h26	26	
		TOTAL	72	50

Todos estos tiempos y kilómetros están tomados con datos obtenidos con Google Earth. Este programa da tres opciones del camino entre un punto y otro, seleccionando el de menor tiempo y recorrido. De esta manera si hubiere algún percance en la carretera o exceso de tráfico se exigiría un camino alternativo.

Todos estos recorridos se muestran en los anexos.

Nivel de servicio

Al estar proponiendo dos opciones de ruta, se considera necesario evaluar los costos que se obtienen del nivel de servicio.

Con la ruta única hay peligro de no alcanzar a realizar el despacho dentro de las ventanas horarias, mientras que con las dos rutas sí se cumplirían. Se analiza el nivel de servicio para decidir qué opción de ruta tomar.

Por política de la empresa se toma una probabilidad de que haya existencias del 98%, el cual es un valor habitual para productos frescos. Para obtener el costo marginal por unidad de falta de existencias, se multiplica por 3 el margen de ganancia por unidad ya que según Lokad, un software de optimización cuantitativa para el comercio, se ha observado esta tendencia en muchos minoristas de comestibles como compensación a la frustración del cliente y la posible pérdida de su fidelidad.

Multiplicando este costo marginal por la falta de existencia de los productos obtenemos el valor que se deja de ganar por no cumplir con las ventanas de entrega. Presentamos una tabla del valor anual de este costo:

TABLA 21: Costos por falta de existencias

	Pan	Pasta hojaldre	Bizcochos	Cakes	Dulces	Galletas	Planchas
Falta de existencias (u.)	1.22	0.34	2	0.9	76.14	0.58	1.18
Margen (\$)	0.155	10	0.83	0.695	0.07	1.405	0.645
x3	0.465	30	2.49	2.085	0.21	4.215	1.935
Costo por artículo (\$)	0.57	10.20	4.98	1.88	15.99	2.44	2.28
Costo total diario(\$)	38.34						
Costo total anual (\$)	\$ 11,962.45						

Vemos que el costo anual por falta de existencias sumado al costo anual incurrido en trasladar los productos con un solo vehículo (el camión) en ruta única es igual a \$ 21,291.25. Este costo sería mayor al costo anual incurrido en trasladar los productos con dos vehículos y dos rutas (\$ 18,551.52), el cual asegura cumplir con los despachos.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Basados en el estudio realizado podemos concluir que la furgoneta tiene la capacidad de abastecer la demanda de los locales solo en los días bajos, mientras que el camión sí tiene la capacidad para poder realizar todos los despachos según la demanda máxima de los puntos de venta.

La ruta única propuesta como primera opción baja en 20 minutos el tiempo de recorrido en relación a la ruta actual ya que el punto de partida es la misma fábrica en lugar del garaje, además que ya no se pasa por Urdesa solo para recoger bandejas y gavetas.

La segunda opción, en la que se fijan dos rutas, una para cada vehículo, esta menos apretada para cumplir los horarios y da más tiempo para poder realizar la compra de materia prima.

Los costos por falta de existencias sumados a los costos de transporte con ruta única son mayores que el costo de transporte con dos rutas.

Al ser un escenario nuevo para la compañía, este estudio permite generar una base estadística que ayude a mantener una cultura de mejora continua.

4.2. Recomendaciones

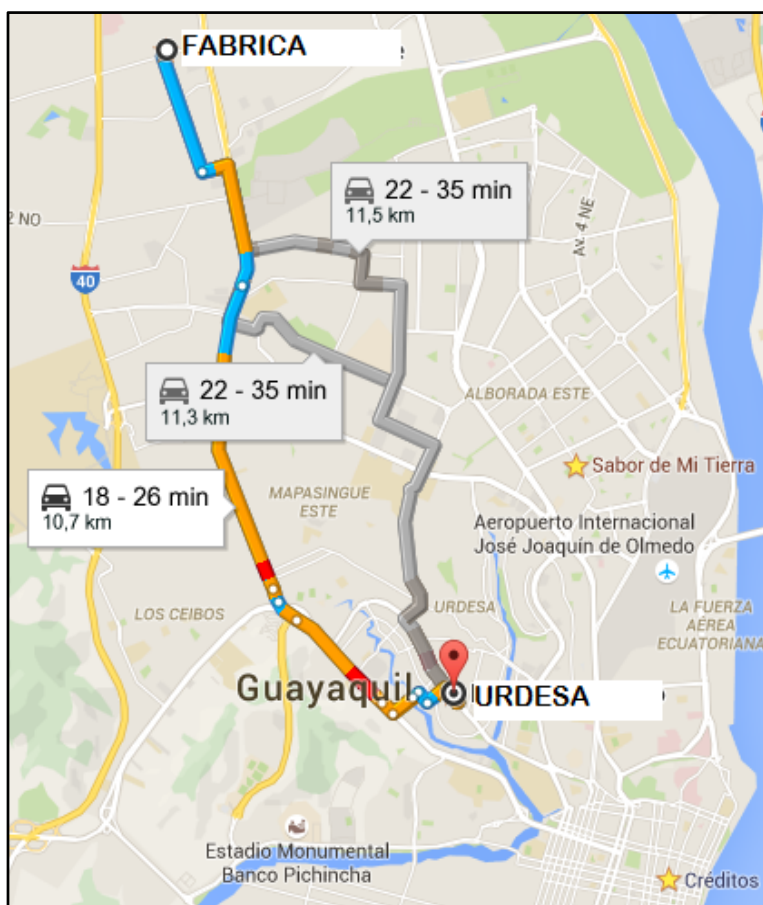
Se recomienda implementar las dos rutas con ambos vehículos de esta forma se aumenta la disponibilidad de los transportes para realizar compras de materia prima esencial e incrementa el nivel de servicio al tener mejores recursos para cumplir con las ventanas horarias de los locales, tomando en cuenta que los productos que elabora son de consumo inmediato.

Es importante mencionar que los choferes deben cumplir con el orden detallado y los trayectos recomendados para que se cumplan las estimaciones de tiempo y recorrido.

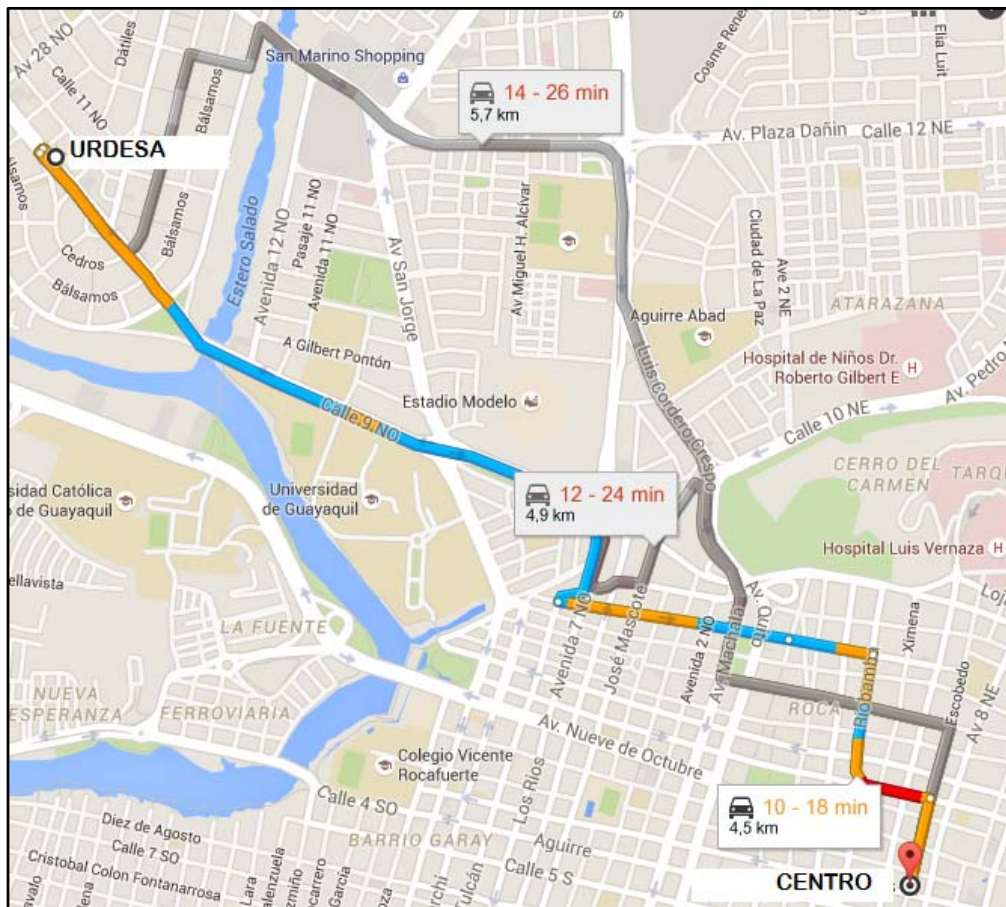
Es recomendable invertir en la compra de bandejas y gavetas para evitar hacer paradas solo para recoger estas unidades vacías.

ANEXOS

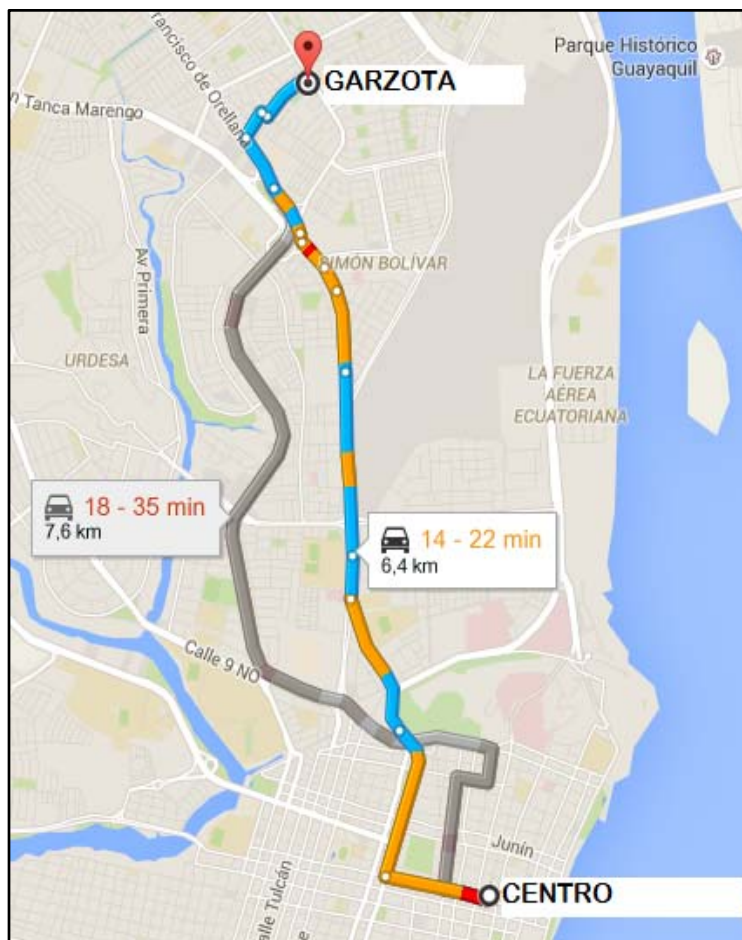
ANEXO 1: Recorrido fábrica - urdesa



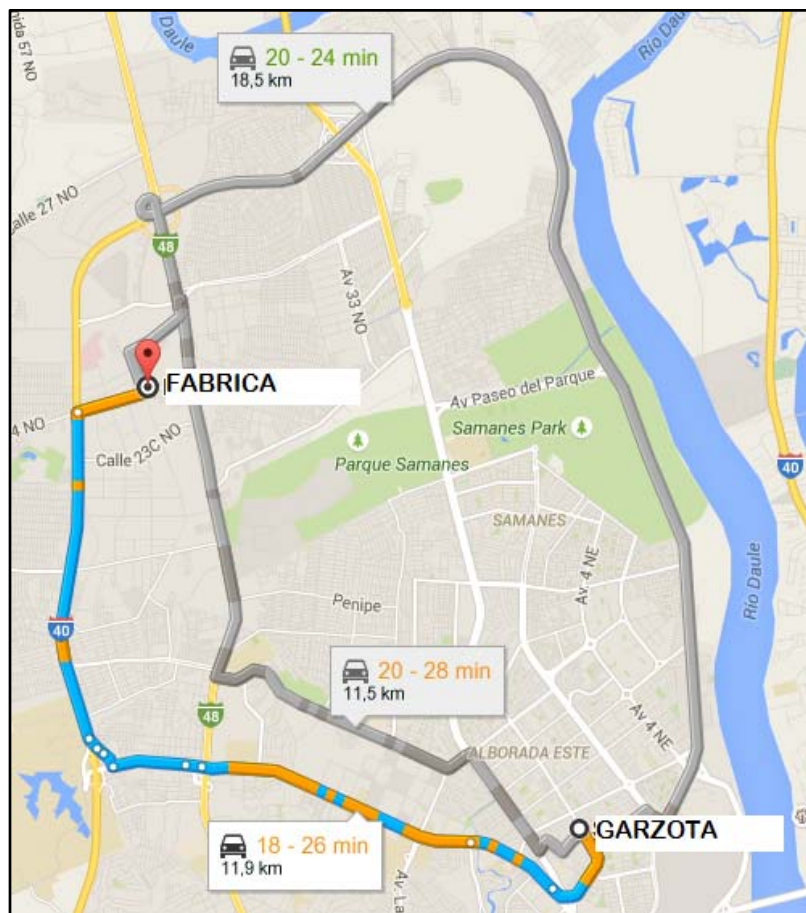
ANEXO 2: Recorrido urdesa - centro



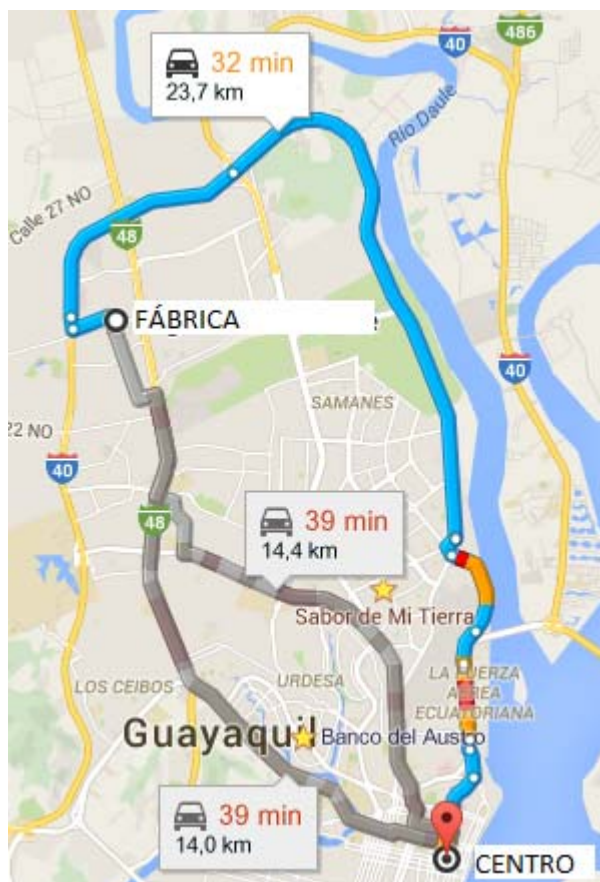
ANEXO 3: Recorrido centro - garzota



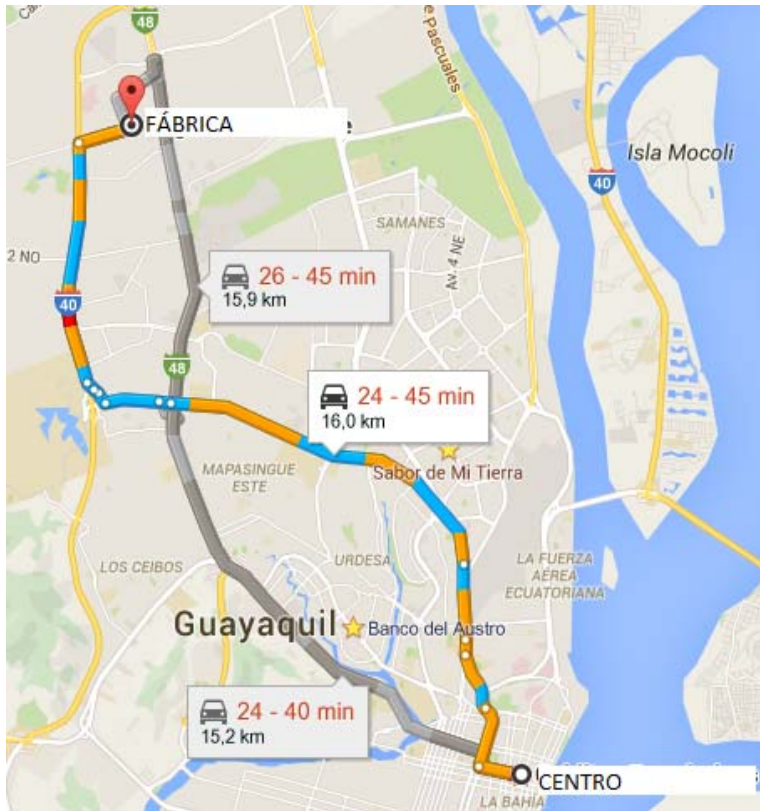
ANEXO 4: Recorrido garzota - fábrica



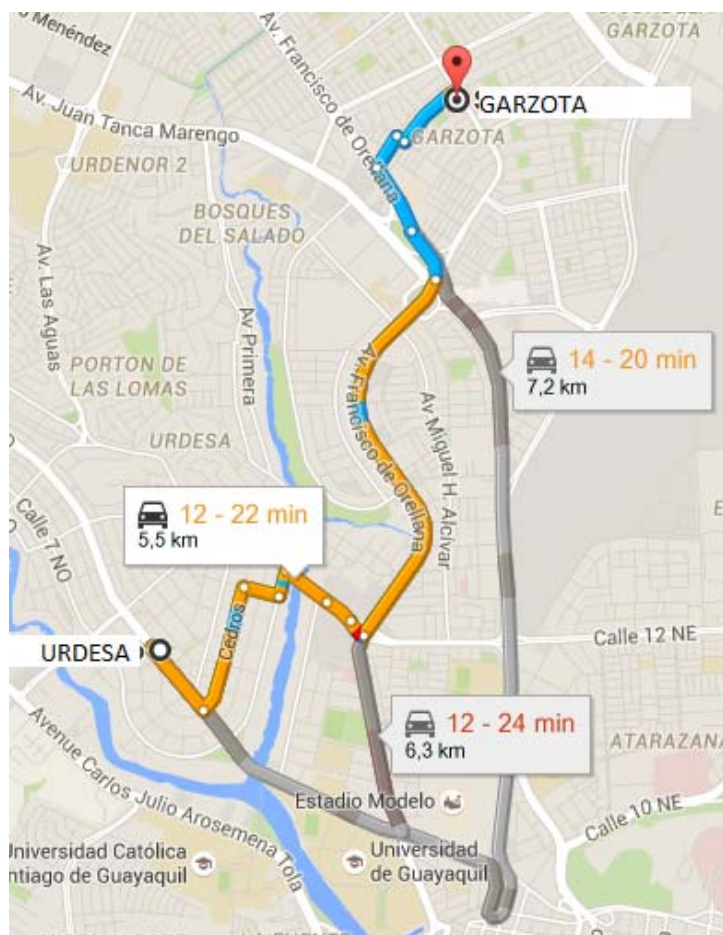
ANEXO 5: Recorrido fábrica - centro



ANEXO 6: Recorrido centro - fábrica



ANEXO 7: Recorrido urdesa - garzota



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ballou, Ronald H., Logística. Administración de la cadena de suministro / Pearson Educación, 2004, Pág. 232-249.
- <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24557/1/Dimensionamiento%20de%20flota%20y%20dise%C3%B1o%20de%20rutas%20de%20distribuci%C3%B3n%20de%20productos%20alimenticios.pdf>
- <http://www.ant.gob.ec/index.php/licencias>
- <http://www.soatecuador.info/documentos/regleytransitoweb.pdf>
- <http://www.iess.gob.ec/es/web/empleador/codigos-sectoriales>
- <http://www.lokad.com/es/nivel-de-servicio-definicion-y-formula>