



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE RUTAS PARA
DISTRIBUCIÓN DE ABARROTES A
COMEDORES INDUSTRIALES**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Industrial

P R E S E N T A

Samantha Lucero Peralta López

DIRECTOR DE TESIS

M. I. Yair Abraham Bazán Tinajero



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

AGRADECIMIENTOS

La primera persona a la que quiero mencionar es a mi mamá, gracias mami por tu apoyo incondicional en cada etapa de mi vida. Gracias también a Mamá Elena, porque los buenos principios se comparten de generación en generación y sé que donde quiera que ella se encuentre está muy orgullosa, sobre todo de ti.

Gracias Rulo, porque a pesar de todo te quiero y agradezco lo que haz echo por mí, por nosotras.

Karen, no pude tener mejor hermana, mi cómplice y compañera en los momentos buenos y en los tiempos oscuros. Te agradezco a ti y a José porque los dos son mis hermanos y los quiero demasiado, espero que esto sea algo bueno y sirva de ejemplo en sus vidas.

A Mary, tía Nelly, tío Juan, Lucy, tía Hilda y Tío Mario, mil gracias por estar apoyándonos en todo momento.

A mi abuelito Alber por ser tan especial y a mis demás tíos y primos, por todo lo que hemos vivido y compartido.

Luis, gracias por ser esa persona a la que tanto admiro y más que eso.

Gracias infinitas a todos los que se toparon conmigo en esta etapa; por haber compartido un consejo, alguna observación, risas y batallas en la facultad, sobre todo a Gaby, Memo, Alex, David y Chucho Bruno.

Gracias totales Ingeniero Yair por orientarme y hacer que comprendiera que rendirse no es opción. A todos los partícipes, la mesa, Sodexo y mis compañeros, gracias.

Y finalmente, gracias a Dios, a mi Facultad y a mi amada UNAM, por darme la oportunidad para salir adelante, siempre.

La mejor satisfacción el deber cumplido.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	8
Historia de SODEXO en México.....	9
Descripción del contenido de la tesis.....	10
OBJETIVO.....	11
Objetivos específicos.....	11
Alcances.....	11
1 Distribución física de mercancías.....	12
1.1 Concepto de logística.....	12
1.1.1 Logística como sistema.....	13
1.2 Importancia de la logística en las empresas.....	14
1.3 Sistema de transporte.....	15
1.3.1 Prestaciones logísticas.....	16
1.3.2 Uso de flota propia.....	17
1.3.3 Integración de cadenas de transporte.....	17
1.4 Distribución en áreas metropolitanas.....	19
2 Problema de ruteo de vehículos (PRV).....	20
2.1 Origen de un PRV.....	20
2.1.1 Formulación matemática del problema del agente viajero.....	21
2.2 Descripción general de un PRV.....	23
2.3 Tipos de PRV.....	24
2.3.1 PRV con restricciones de capacidad.....	25
2.3.2 PRV con ventanas de tiempo.....	28
2.4 Métodos de solución del PRV.....	31
2.4.1 Descripción de los métodos exactos.....	32
2.4.2 Descripción de un heurístico.....	33
2.4.3 Tipos de métodos heurísticos.....	34
2.4.4 Descripción de un metaheurístico.....	36
2.4.5 Tipos de métodos metaheurísticos.....	36
3 Uso de WinQSB.....	41
3.1 Modelo de redes de WinQSB.....	42
3.1.1 Problema del agente viajero (Traveling Salesman Problem).....	43

4	Caso de estudio: Distribución de abarrotes a comedores industriales.....	45
4.1	Metodología de solución.....	45
4.1.1	Descripción del Sistema	45
4.1.2	Definición del problema	46
4.1.3	Distribución de mercancías en el Valle de México.....	47
4.1.4	Descripción de la flota de vehículos.....	49
4.1.5	Punto de suministro	52
4.1.6	Puntos de destino.....	55
5	SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	61
5.1	Zonificación	61
5.1.1	Alternativa 1	62
5.1.2	Alternativa 2	68
5.1.3	Alternativa 3	74
5.1.4	Alternativa 4.....	81
5.2	Análisis de resultados.....	83
5.2.1	Presentación de rutas.....	84
5.2.2	Asignación de rutas a los camiones.....	91
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
	REFERENCIAS.....	94
	ANEXO I	97
	Rendimiento de las unidades de transporte	97
	Nivel de servicio de nuestro punto de suministro	99
	Demanda de los comedores.....	103
	Tiempo de descarga en los sitios	104
	ANEXO II	105
	Matriz origen destino	105
	Procedimiento para el cálculo de rutas con WinQSB.....	109
	Resultado de los cálculos utilizando WinQSB	114
	Evaluación de restricciones	127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 2.1 RECORRIDO DE UN PAV EN OCHO CIUDADES.....	21
ILUSTRACIÓN 2.2 EJEMPLO DEL PAV CON CINCO CIUDADES, SOLUCIONES DE CIRCUITO Y SUBCIRCUITO PARA EL MODELO DE ASIGNACIÓN CORRESPONDIENTE	22
ILUSTRACIÓN 2.3 SOLUCIÓN FORMADA POR DOS SUBCIRCUITOS, OMITIENDO LA RESTRICCIÓN 4	23
ILUSTRACIÓN 2.4 RAMIFICACIÓN Y ACOTAMIENTO PAV	33
ILUSTRACIÓN 2.5 MÉTODO DEL VECINO MÁS CERCANO.....	35
ILUSTRACIÓN 3.1 MÉTODOS DE SOLUCIÓN PARA EL PAV	44
ILUSTRACIÓN 4.1 VÍAS AFECTADAS POR LA CIRCULACIÓN DE TRANSPORTE DE CARGA.....	49
ILUSTRACIÓN 4.2 VEHÍCULOS ISUZU ELF 500 K	50
ILUSTRACIÓN 4.3 THERMO KING T-580 R	51
ILUSTRACIÓN 4.4 ANDENES DE CARGA Y DESCARGA CDIS SODEXO	52
ILUSTRACIÓN 4.5 ALMACÉN CDIS SODEXO	53
ILUSTRACIÓN 4.6 LAY OUT ALMACÉN	53
ILUSTRACIÓN 4.7 DIRECCIÓN FÍSICA DEL CDIS	54
ILUSTRACIÓN 4.8 IMAGEN STREET CDIS SODEXO	55
ILUSTRACIÓN 4.9 IMAGEN STREET COMEDORES EN GOOGLE MAPS	59
ILUSTRACIÓN 4.10 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES EN GVSIG	60
ILUSTRACIÓN 5.1 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES DE LA ZONA A	63
ILUSTRACIÓN 5.2 ORDEN DE RECORRIDO ARROJADO POR WINQSB- ZONA A.....	63
ILUSTRACIÓN 5.3 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES DE LA ZONA B.....	65
ILUSTRACIÓN 5.4 ORDEN DE RECORRIDO ARROJADO POR WINQSB- ZONA B.....	65
ILUSTRACIÓN 5.5 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES DE LA ZONA C.....	66
ILUSTRACIÓN 5.6 ORDEN DE RECORRIDO ARROJADO POR WINQSB- ZONA C.....	66
ILUSTRACIÓN 5.7 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES DE LA ZONA D	67
ILUSTRACIÓN 5.8 ORDEN DE RECORRIDO ARROJADO POR WINQSB- ZONA D.....	68
ILUSTRACIÓN 5.9 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES DE LA ZONA E.....	69
ILUSTRACIÓN 5.10 ORDEN DE RECORRIDO ARROJADO POR WINQSB- ZONA E	69
ILUSTRACIÓN 5.11 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES DE LA ZONA F.....	70
ILUSTRACIÓN 5.12 ORDEN DE RECORRIDO ARROJADO POR WINQSB- ZONA F	71
ILUSTRACIÓN 5.13 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES DE LA ZONA G	72
ILUSTRACIÓN 5.14 ORDEN DE RECORRIDO ARROJADO POR WINQSB- ZONA G.....	72
ILUSTRACIÓN 5.15 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES DE LA ZONA H	73
ILUSTRACIÓN 5.16 ORDEN DE RECORRIDO ARROJADO POR WINQSB- ZONA H.....	74
ILUSTRACIÓN 5.17 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES DE LA ZONA I.....	75
ILUSTRACIÓN 5.18 ORDEN DE RECORRIDO ARROJADO POR WINQSB- ZONA I	75
ILUSTRACIÓN 5.19 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ZONA I	76
ILUSTRACIÓN 5.20 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES DE LA ZONA J	77
ILUSTRACIÓN 5.21 ORDEN DE RECORRIDO ARROJADO POR WINQSB- ZONA J.....	77
ILUSTRACIÓN 5.22 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES DE LA ZONA K.....	78
ILUSTRACIÓN 5.23 ORDEN DE RECORRIDO ARROJADO POR WINQSB- ZONA K.....	79
ILUSTRACIÓN 5.24 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES DE LA ZONA L.....	80
ILUSTRACIÓN 5.25 ORDEN DE RECORRIDO ARROJADO POR WINQSB- ZONA L	80
ILUSTRACIÓN 5.26 UBICACIÓN DE LOS COMEDORES DE LA ZONA M	82
ILUSTRACIÓN 5.27 ORDEN DE RECORRIDO ARROJADO POR WINQSB- ZONA M.....	82
ILUSTRACIÓN 5.28 ZONIFICACIÓN DEL DISEÑO DE RUTAS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE ABARROTES A COMEDORES INDUSTRIALES .	84
ILUSTRACIÓN 5.29 DESIGNACIÓN DE RUTAS	85
ILUSTRACIÓN 5.30 RECORRIDO DE LA RUTA 1 NORTE.....	86

ILUSTRACIÓN 5.31 RECORRIDO DE LA RUTA 2 CENTRO	88
ILUSTRACIÓN 5.32 RECORRIDO RUTA 3 SUR.....	89
ILUSTRACIÓN 5.33 RECORRIDO RUTA 4 SANTA FE	91

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.2.1 ELEMENTOS DE LA BÚSQUEDA TABÚ	38
TABLA 4.4.1 RENDIMIENTO ISUZU ELF 500 K	50
TABLA 4.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS.....	51
TABLA 4.4.3 NIVEL DE SERVICIO EN PIEZAS CDIS-COMEDORES.....	54
TABLA 4.4.4 DEMANDA EN PIEZAS QUE PRESENTAN LOS COMEDORES.....	56
TABLA 4.4.5 HORARIOS DE RECEPCIÓN.....	57
TABLA 4.4.6 DIRECTORIO	58
TABLA 5.1 RESTRICCIONES	61
TABLA 5.2 PUNTOS IMPORTANTES A CONSIDERAR.....	61
TABLA 5.3 DATOS PARA EL CÁLCULO DE COSTOS	62
TABLA 5.4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ZONA A	64
TABLA 5.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ZONA B	65
TABLA 5.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ZONA C	67
TABLA 5.7 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ZONA D.....	68
TABLA 5.8 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ZONA E	70
TABLA 5.9 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ZONA F	71
TABLA 5.10 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ZONA G.....	73
TABLA 5.11 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ZONA H.....	74
TABLA 5.12 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ZONA J.....	78
TABLA 5.13 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ZONA K	79
TABLA 5.14 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ZONA L.....	81
TABLA 5.15 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA ZONA M.....	82
TABLA 5.16 COMPARACIÓN DE RESULTADOS	83
TABLA 5.17 ASIGNACIÓN DE RUTAS A LAS UNIDADES DE TRASPORTE.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA ANEXO I 1. FORMATO DE REGISTRO PARA OBTENER EL RENDIMIENTO	97
FIGURA ANEXO I 2. CÁLCULO DEL RENDIMIENTO	98
FIGURA ANEXO I 3. RENDIMIENTO PROMEDIO	98
FIGURA ANEXO I 4. ACCESO Ax/OPTIMUN Y BÚSQUEDA DE DATOS	99
FIGURA ANEXO I 5. DETALLES DE LAS ÓRDENES DE VENTA.....	100
FIGURA ANEXO I 6. DESCARGA DE DATOS EN EXCEL	100
FIGURA ANEXO I 7. CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS	101
FIGURA ANEXO I 8. ANÁLISIS DE DATOS	102
FIGURA ANEXO I 9. RESULTADO DEL NIVEL DE SERVICIO DEL PUNTO DE SUMINISTRO	102
FIGURA ANEXO I 10. ESPECIFICACIONES DE LAS TARAS.....	103
FIGURA ANEXO I 11. RESULTADO DE LA DEMANDA PROMEDIO DE LOS COMEDORES	103
FIGURA ANEXO I 12. REPORTE GPS.....	104
FIGURA ANEXO II 1. RUTAS EN GOOGLE MAPS- ESPECIFICAR HORA Y DÍA	105

FIGURA ANEXO II 2. OPCIONES DE RUTA	106
FIGURA ANEXO II 3. SELECCIÓN DEL RECORRIDO MÁS ÓPTIMO	106
FIGURA ANEXO II 4. MATRIZ ORIGEN-DESTINO TIEMPO DE RECORRIDO [MIN]	107
FIGURA ANEXO II 5. MATRIZ DE TIEMPOS DE DISTRIBUCIÓN (TIEMPO DE TRASLADO + TIEMPO DE PERMANENCIA EN EL SITIO)...	108
FIGURA ANEXO II 6. MATRIZ ORIGEN-DESTINO DISTANCIA [KM]	108
FIGURA ANEXO II 7. SELECCIONAR LOS COMEDORES A EVALUAR	127
FIGURA ANEXO II 8. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD.....	128
FIGURA ANEXO II 9. INGRESAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON WINQSB	129
FIGURA ANEXO II 10. RESULTADO DEL TIEMPO DE DISTRIBUCIÓN Y TIEMPO DE TRASLADO.....	130
FIGURA ANEXO II 11. CALCULAR LA HORA DE ARRIBO AL SITIO.....	131
FIGURA ANEXO II 12. CALCULAR LA HORA DE SALIDA.....	131
FIGURA ANEXO II 13. EVALUAR LA RESTRICCIÓN DE LOS HORARIOS	132
FIGURA ANEXO II 14. COSTO DE TRASLADO	133
FIGURA ANEXO II 15. COSTO POR HORAS EXTRA Y COSTO TOTAL	134
FIGURA ANEXO II 16. TABLA DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE COSTOS	134

INTRODUCCIÓN

El problema de distribuir productos desde ciertos depósitos a sus usuarios finales juega un papel central en la gestión de algunos sistemas logísticos y su adecuada planeación puede significar considerables ahorros. Por eso la creación de Centros de Distribución (CDIS) cerca de los grandes núcleos urbanos permite mejorar las estrategias de distribución por la cercanía con los clientes. Gran parte de las estrategias de optimización se basan en técnicas de Investigación de Operaciones que fungen como facilitadoras de la planeación, de acuerdo con Toth, P. (2014), se estima que los costos del transporte representan entre el 10% y el 20% del costo final de los bienes.

En las últimas cinco décadas se ha hecho un enorme esfuerzo por resolver este tipo de problemas. En 1959, Dantzig y Ramser realizaron por primera vez una formulación del problema de transporte para una aplicación de distribución de combustible. Cinco años más tarde (1964), Clarke y Wright propusieron el primer algoritmo que resultó efectivo para su resolución: el popular Algoritmo de Ahorros. A partir de estos trabajos, el área de Ruteo de Vehículos ha crecido de manera considerable. Por un lado, hacia modelos que incorporen cada vez más características de la realidad, y, por otro lado, en la búsqueda de algoritmos que permitan resolver los problemas de manera eficiente (Toth, P. 2014).

Uno de los términos utilizados en la Investigación de Operaciones es logística. Es necesario entender la logística como aquella función que se encarga de distribuir de manera eficiente los productos de una determinada empresa con un menor costo y un excelente servicio al cliente (Roldán, Moras & Aguilar, 2007).

Asimismo, entendemos que la distribución, según Chopra y Meindl (2008), se refiere a los pasos a seguir para mover y almacenar un producto desde la etapa del proveedor hasta la del cliente en la cadena de suministro; considerándola una directriz clave de la rentabilidad total de la compañía.

El Problema de Ruteo de Vehículos (PRV¹) consiste en realizar la distribución de un bien o servicio desde depósitos dispersos hasta los clientes que tienen una demanda específica, determinando un conjunto de rutas de costo mínimo que comiencen y terminen en los depósitos, para que una flota de vehículos visite a los clientes asegurando las entregas. Las características de los clientes,

¹ De aquí en adelante se abreviará Problema de Ruteo de Vehículos como PRV.

depósitos y vehículos, así como diferentes restricciones operativas sobre las rutas, dan lugar a diferentes variantes del problema.

De acuerdo con Olivera (2004), hay ocasiones en que la capacidad del vehículo impone una restricción sobre la cantidad de clientes que puede alojar simultáneamente, esto se debe a la demanda que cada cliente tiene; es usual que cada cliente deba ser visitado exactamente una vez; sin embargo, en ciertos casos se acepta que la demanda de un cliente sea satisfecha en momentos diferentes y por vehículos diferentes.

Los problemas en que los atributos (capacidad, costo, etc.) son los mismos para todos los vehículos se denominan de flota homogénea, y si hay diferencias se les denomina de flota heterogénea. La cantidad de vehículos disponibles puede ser un dato de entrada o una variable de decisión. Los objetivos suelen utilizar la menor cantidad de vehículos y minimizar la distancia recorrida.

Hay ocasiones en que los clientes tienen restricciones relativas a su horario de servicio. Usualmente estas restricciones se expresan en forma de intervalos de tiempo (llamados ventanas de tiempo) en los que se puede arribar al consumidor.

En nuestro caso de estudio, para la empresa SODEXO, se toman en cuenta las características del centro de distribución y su oferta asociada, el cliente y su demanda, y finalmente la flota de vehículos disponibles para el transporte. Además se requiere que cada ruta comience y finalice en el Centro de Distribución (CDIS).

Historia de SODEXO en México

La empresa Sodexo surge en Marsella, Francia en el año de 1966. Tiene presencia en ochenta países alrededor del mundo y en la década de 1990 hace su aparición en México, inicialmente como una empresa dedicada a proveer servicios de alimentación en comedores corporativos, así como ofrecer servicios de hotelería, limpieza y alimentación en el segmento de Sitios Remotos.

El propósito de los servicios que ofrece es con la finalidad de optimizar la eficiencia de las empresas, integrando las tareas de mantenimiento, soporte del negocio y alimentación de los trabajadores en un solo proveedor especializado.

En este momento, con 26 años en el mercado de la industria en el país, busca ser reconocida como empresa líder en servicios de calidad de vida.

Una de las áreas de la empresa tiene a su cargo la gestión de Comedores Industriales y en el 2016 inició un proceso de centralización con el cual pretendía cambiar la manera de distribuir alimentos a los comedores, comprando grandes volúmenes a proveedores directos que entregaran los pedidos solicitados en un solo punto.

Con la creación del Centro de Distribución (CDIS) ahora la empresa deberá satisfacer la demanda de los veintidós comedores industriales que se encuentran distribuidos en el Valle de México, utilizando para la distribución los vehículos disponibles. En este caso, la demanda es un bien que ocupa lugar en las unidades de transporte y es usual que un mismo vehículo no pueda satisfacer la demanda de todos los clientes en una misma ruta y contemplar que están disponibles solamente dos días de la semana. Por lo tanto las rutas deben realizarse contemplando la capacidad y disposición de los vehículos, los cuales tiene ciertos atributos (peso, volumen, costo, etc.), de modo que la capacidad del vehículo se ve reducida por la mercancía a transportar y por las horas de entrega en las que debe realizar el reparto. Además debe estimarse el costo de distribución de cada recorrido.

Descripción del contenido de la tesis

El capítulo uno describe la distribución física de mercancías, se especifica el concepto de logística, su importancia, los sistemas de transporte y la distribución en áreas metropolitanas.

En el segundo capítulo se presenta el Problema de Rutas de Vehículos (PRV), los tipos de PRV, la formulación matemática y los métodos de solución que competen en nuestro caso de estudio.

En el capítulo número cuatro se discute el uso del sistema interactivo de ayuda a la toma de decisiones, WINQSB y el modelo de redes con el que cuenta para la solución de problemas de transporte.

El capítulo cinco detalla el caso de estudio y la metodología de solución para poder mostrar la solución del problema, exponiendo la zonificación de la región y el diseño de rutas elegido después de analizar varias propuestas.

Por último, en el capítulo seis se describe el porqué de la selección y las recomendaciones para la ejecución de este trabajo.

OBJETIVO

El desarrollo de este trabajo tiene como objetivo principal evaluar el costo logístico de reparto mediante el diseño de rutas de vehículos con capacidad homogénea y ventanas de tiempo, para la distribución de abarrotes a los Comedores Industriales ubicados en la Ciudad de México y en algunos municipios del Estado de México, tomando el problema de la empresa SODEXO.

Objetivos específicos

Conocer para los comedores:

- Demanda
- Ubicación
- Horarios permitidos para realizar la entrega (ventanas de tiempo)
- Tiempo de descarga

Conocer para las unidades de transporte:

- Rendimiento
- Capacidad de carga
- Volumen de la caja

Conocer de la empresa:

- Jornada de trabajo establecida para los repartidores
- Costo por horas extra
- Disponibilidad de los camiones para el reparto de abarrotes

Alcances

Esta investigación se enfoca en el diseño de las rutas de distribución y la evaluación de los costos logísticos de distribución. Después del diseño se dan recomendaciones para implementar las rutas.

1 Distribución física de mercancías

La distribución es la función que permite el traslado de los productos o servicios, abarca desde el estado final de producción hasta la adquisición para su consumo, considerando el lugar, tiempo, forma, cantidad y costo.

En el ámbito de competencia que caracteriza al siglo XXI, la logística industrial es usada por las compañías con el fin de generar ventajas competitivas por cambios en los consumidores debido a la demanda de una canasta diversificada de productos, tendencias en procesos, organización de la producción y evolución en tecnologías de gestión. Así se han generado mayores desafíos e importancia de los procesos de distribución, por lo que el establecimiento de las rutas para vehículos de una manera óptima ha generado gran interés de investigación.

La logística estratégica², como parte de la administración de procesos, ha sido aplicada por su gran importancia dentro de las organizaciones, incursionando en los problemas del transporte y el comercio. Es utilizada para la entrega oportuna y los adecuados recorridos de distribución pues ahora los consumidores adquieren identidad de clientes y son más exigentes (Benavente et al., 2005).

La determinación de rutas es una de las operaciones indispensables y con gran importancia a la hora de la planeación y ejecución de la distribución, debido a que incluye factores como el cumplimiento a los clientes, la capacidad del medio de transporte, los costos y el nivel de servicio.

De una adecuada logística dependen, entre otras cosas, la optimización en los procesos, la inclusión en nuevos mercados, el reconocimiento y la fidelidad de los clientes.

1.1 Concepto de logística

La logística se concibe como una técnica de control y gestión de flujos y se enfoca en la responsabilidad para diseñar y administrar sistemas con el fin de llevar materias primas y productos desde sus fuentes de aprovisionamiento hasta su colocación en los puntos de consumo al menor costo y en el tiempo solicitado.

² La logística estratégica se define como la búsqueda de una ventaja competitiva para obtener por medio de alianzas (con prestatarios de servicios de transporte y logística) menores costos y mayores y mejores requerimientos de los clientes ofreciendo nuevos niveles de servicio que faciliten la conservación y la ampliación del mercado que atiende la compañía.

En el contexto más amplio de una cadena de suministro³, la logística es un subconjunto y ocurre dentro de ésta; es el proceso que crea un valor por la oportunidad y el posicionamiento del inventario. Es así como la logística involucra todas las operaciones que determinan el movimiento de los productos. Implica la administración del procesamiento de pedidos, el inventario, el transporte y la combinación del almacenamiento, el manejo de materiales y el embalaje; todo esto integrado mediante la red empresarial. El reto dentro de una empresa es coordinar la capacidad funcional en una operación integrada que se concentre en atender a los clientes.

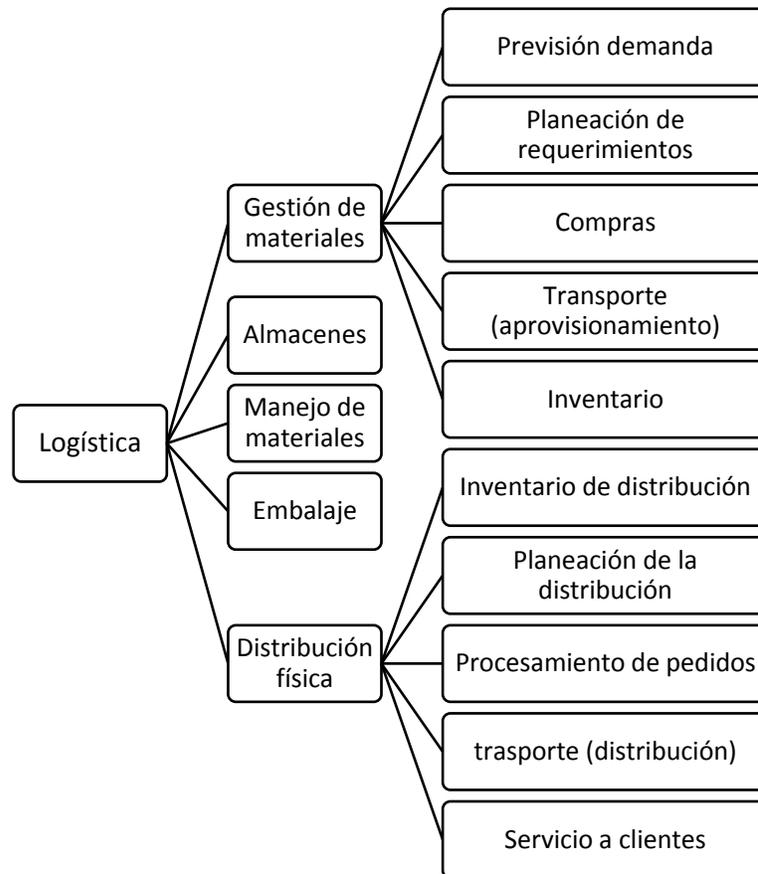
1.1.1 Logística como sistema

El enfoque de sistemas aplicado a la comprensión de la circulación conduce a la concepción de la logística como un sistema.

La estructura por partes del sistema logístico reúne los medios materiales y de gestión de dos subsistemas básicos: la gestión de materiales y la distribución física. Ambos se traslapan en la fase de producción (almacenes, manejo de materiales, embalaje, Cuadro 1.1)

Las actividades clave del sistema logístico son el servicio al cliente, el transporte, la gestión de inventarios y el procesamiento de pedidos, y las actividades de soporte con el almacenamiento, el manejo de las mercancías, los procesos de compra, la planificación del producto, el empaque y la gestión de la información.

³ La cadena de suministro consiste en la colaboración entre las empresas que persiguen un posicionamiento estratégico común y pretenden mejorar su eficiencia operativa por medio de la vinculación de los socios comerciales.



Cuadro 1.1 Estructura del sistema logístico

Fuente: Campbell, JH, 1980

De esta manera, la satisfacción de la demanda es el objetivo de la construcción del procedimiento logístico. Marca el ritmo de los procesos de distribución física, producción y abastecimiento mejorando el servicio de los clientes.

La finalidad del sistema logístico es asegurar un servicio predecible, consistente y confiable a un costo razonable. La meta es una calidad del sistema logístico, no necesariamente con el menor costo.

1.2 Importancia de la logística en las empresas

La logística en su acepción más amplia es la racionalización de la conducción de flujos en la empresa. Estos influyen: los flujos físicos de mercancías en la gestión de aprovisionamiento de materiales e insumos y de la distribución física de los productos en las áreas de mercado atendidas, flujos financieros y de información.

La logística puede integrar distribución, producción y abastecimiento sincronizando ritmos y flujos; este sistema es conocido como logística integrada, ya que en la distribución física se controlan operaciones de transporte y almacenamiento, asegurando la preparación de pedidos y la gestión de inventarios. Esta logística sirve para vincular y sincronizar la cadena de suministro general como un proceso continuo y esencial para la efectiva conectividad de la cadena ya que guía el proceso de planeación, asignación y control de recursos humanos, técnicos y financieros para realizar la distribución física de los productos y ejecutar las operaciones de surtimiento.

1.3 Sistema de transporte

El transporte es el área operativa de la logística que desplaza y posiciona geográficamente el inventario. Es considerado como una operación productiva (Antún, JP, 1988) que asegura la realización de desplazamientos en la fase necesaria producción-distribución, donde estas dos actividades lo determinan.

Los requerimientos de transporte son tomados por una unidad funcional de la empresa, y se satisfacen de tres maneras básicas: primero, puede operarse una flotilla privada, es decir, con transporte propio, en propiedad y/o en gestión de renta a largo plazo; segundo, pueden prepararse contratos con especialistas dedicados al transporte, en este caso la unidad funcional es compradora del transporte; tercero, una empresa puede contratar los servicios de una amplia variedad de transportistas que proporcionen los diferentes servicios de transporte requeridos en función del envío (Bowersox, et al, 2007).

En el sistema logístico se consideran tres factores fundamentales en el manejo de transporte:

1. El costo de realizar el envío y que cubre los gastos por mantener el inventario en tránsito. Es por eso que se debe utilizar un transporte que minimice el costo total del sistema, pero el método de transporte menos costoso tal vez no produzca el costo total más bajo de la logística.
2. La velocidad en que se concluye un movimiento específico. Existe una relación entre la velocidad y el costo, a veces el transporte capaz de ofrecer un servicio más rápido tiene un costo más elevado, pero entre más rápido es el servicio de transporte, es menor el tiempo en que el inventario está en tránsito.
3. La regularidad, ésta se refiere a las variaciones de tiempo requeridas para realizar un movimiento específico durante varios envíos y refleja la confiabilidad del transporte. Las

variaciones en la regularidad reflejan la calidad del servicio pues si hay variaciones inesperadas se crea un problema operativo en la cadena de suministro. Además, si no es regular, se requieren inventarios de seguridad como protección contra las interrupciones.

Para el diseño de un sistema logístico debe existir un balance entre el costo del transporte y la calidad del servicio dependiendo de las circunstancias de uso, por eso es importante determinar y administrar la mezcla de transporte más conveniente para la cadena de suministro.

En la gestión de tráfico el objetivo es diseñar y controlar la operación de las cadenas de transporte para el aprovisionamiento de materiales, la reconstrucción de la producción y la distribución física de los productos.

1.3.1 Prestaciones logísticas

La logística aparece como un progreso técnico que las empresas emplean para atenuar los efectos de la baja en la tasa de ganancia. El capital-transporte no solo es menos rentable, si su desvalorización es mayor, de ahí que la empresa recurre con menores costos al prestatario de servicios de transporte o a los proveedores de servicios integrados (Antún, JP, 1988) y hacer de la logística una estrategia para agregar valor.

1.3.1.1 Prestatarios de Servicios de Transporte y Logística (PSTL)

La empresa al externalizar las operaciones logísticas frecuentemente impulsa al prestador de servicios de transporte a realizar actividades de almacenamiento, consolidación de cargas, ruptura de tracción y de cargas⁴ para la distribución, que luego dicho prestador puede ofrecer a otras empresas. Así, la logística fomenta servicios de transporte con contenido logístico y se hace una segmentación en subsectores moderno y tradicional ya que el prestador es obligado a adaptarse para integrar una cadena de transporte en el marco de una cadena logística.

El subsector tradicional se basa en la especialización de funciones, y resulta natural que las empresas desarrollaran la práctica de subcontratar el trabajo a empresas especializadas en el desempeño de funciones específicas, pero la ampliación de servicios logísticos de los prestadores del subsector moderno tiene un efecto singular benéfico para las pequeñas y medianas empresas

⁴ La ruptura de tracción de cargas es aquella oportunidad en que se interrumpe la transferencia física, generalmente para un cambio modal, y la ruptura de carga es aquella en que la unidad de carga se desconsolida, comúnmente para transformarla en lotes según órdenes de clientes.

(generalmente porque carecen de una concepción logística). Asimismo, la realización de plataformas logísticas de transporte⁵, esfuerzo de este subsector moderno, puede infundir un proceso de innovación del subsector tradicional.

Los problemas en los servicios de prestatarios logísticos es que no aseguran una calidad en el sistema logístico y así invalidan costos menores.

Unas de las ventajas de externalizar las operaciones logísticas es que la empresa tiene un enfoque en el Core Business⁶ y asegura el desarrollo de las operaciones delegadas.

1.3.2 Uso de flota propia

La gerencia de tráfico adopta una flota propia cuando el producto en realidad es una justificación para vender logística. Otra razón importante es alcanzar un mayor nivel de servicio para los clientes que con empresas transportistas. Además hay más estrategias de comercialización y mercadotecnia a la hora de servicios de facturación, colocación de producto y recolocación de pedidos; menores costos que usando transporte en servicio público y un control de las unidades y de las cargas, incluyendo al personal que realiza el reparto.

1.3.3 Integración de cadenas de transporte

Los transportes se organizan para asegurar los desplazamientos físicos de bienes, cada desplazamiento se organiza en una cadena logística, la cual estructura una cadena de transporte.

La estructura de la cadena de transporte en términos de la selección de modos y su combinación, determinación de la calidad de servicios, adopción de unida de carga, especificación del acondicionamiento de la carga, frecuencia de transferencia física (determinación de la capacidad de la cadena), y decisión sobre el empleo de medios propios o de prestatarios, es resultado de la cadena logística de la empresa.

1.3.3.1 Cadena logística

La cadena logística es la implantación de la logística para la realización y control de un segmento de la circulación, se define con base en un conjunto de parámetros, áreas y medios de intervención de la información, la cual permite regular el flujo de mercancías.

⁵ Se refiere a las Centrales de carga, las Centrales de abastos, Centros Corporativos de Distribución.

⁶ Core Business: función esencial de la empresa.

Los principales parámetros logísticos son:

1. Los puntos de espacio entre los que debe realizarse el desplazamiento y la distancia entre ellos.
2. El volumen y peso de los bienes a transportar en un periodo normalizado.
3. La naturaleza de los bienes y las características del embalaje.
4. Lote de expediciones.
5. Plazo admisible de envíos, y la duración de la realización del desplazamiento, según diferentes alternativas técnicas.
6. Las restricciones de otros componentes de la red logística (número, capacidad, y localización de los depósitos).
7. La infraestructura del transporte existente y su adecuación.
8. La disponibilidad de prestadores de servicios de transporte.
9. El precio del flete y el costo total de la cadena acorde con diferentes alternativas.

En cuanto a las áreas y parámetros de intervención logística, se considera la gestión del parque de vehículo (cuando se trata de transporte por cuenta propia), la programación de los transportes y el control en la ejecución de los movimientos.

Para realizar la intervención de la información se usan los contratos con prestatarios, métodos y procedimientos de gestión de parque propio (circuitos, frecuencias, etc.), programa de transportes y mecanismos de control y seguimiento de movimientos, en general un sistema formalizado de información, muchas veces estructurado con mecanismos tales como teléfonos (Antún, JP, 1988).

1.3.3.2 Cadena de transporte

La materialización de una cadena logística implica una cadena de transporte: la recepción, el acondicionamiento, la transferencia física, la recepción y la gestión del conjunto de estas operaciones, que aseguren que una mercancía se desplace entre dos puntos del espacio (puntos de expedición y recepción).

La realización de la circulación involucra agentes como el proveedor, el distribuidor y el prestatario de servicios de transporte y logística (sea interno o dado a un tercero). La cadena de transporte utiliza medios físicos importantes, tal es el caso de la flota de vehículos que involucra el acondicionamiento de las unidades, frecuentemente equipada con radio-teléfonos, depósitos, equipo de maniobras y manejo de cargas para el control y seguimiento del desplazamiento.

1.4 Distribución en áreas metropolitanas

La distribución de mercancías en zonas urbanas es crucial porque influye directamente en la contaminación, la congestión, la seguridad vial y ocupación del espacio urbano. Y es que la principal demanda de servicios de transporte y de logística viene de los establecimientos comerciales que necesitan un abastecimiento diario.

Para que el suministro pueda llevarse a cabo es importante contemplar estos factores que caracterizan y ponen condiciones a las distribuciones:

- La tipología de la ciudad, si es lineal⁷ o radio céntrica⁸
- La influencia de la infraestructura. Aquí se evalúan las vialidades, por ejemplo las calles cerradas, avenidas de un solo sentido, los semáforos, etc.
- La existencia de centros históricos que por la gran concentración de establecimientos comerciales y la falta espacios específicos para las maniobras dificultan la distribución.
- La habitabilidad de la zona. Esto nos da un panorama de cuanta población se desplaza a la periferia y cuanta se queda concentrada en el núcleo, generando horas pico o bien coexistencia de movilidad y mercancías.
- El tamaño de la ciudad y la conexión que tiene con otros núcleos.

Al considerar estos aspectos se puede crear una estrategia de la distribución considerando el número de destinos, los tiempos de descarga, el horario establecido para la recepción y las características que deben poseer los vehículos para adaptarse a la infraestructura y así poder atacar y disminuir los problemas generados en el tejido urbano.

⁷ Cuando es lineal es porque se desarrolla longitudinalmente y los polígonos industriales se sitúan en los extremos permitiendo que el flujo vehicular se distribuya a lo largo de la ciudad.

⁸ La radio céntrica es de característica radial, aquí los polígonos industriales se encuentran alrededor de la ciudad y el centro cobra especial importancia (centralización).

2 Problema de ruteo de vehículos (PRV)

El problema de distribución puede presentarse de diferentes maneras. Pueden enfocarse a la selección del mejor medio de transporte; a establecer el tamaño óptimo de la flota de vehículos; o a la determinación del sistema óptimo de rutas de entrega de costo mínimo bajo ciertas restricciones. Además pueden enfocarse en la capacidad del transporte, siempre y cuando ya se cuente con una flota, en el tiempo del servicio y en la distancia total recorrida por cada vehículo.

Uno de los problemas en el ámbito de la gestión logística y de la cadena de suministro es el ordenamiento de distribución en el ruteo de vehículos. De ahí parte la necesidad de realizar estudios sobre los métodos que se pueden aplicar para mejorar esta actividad.

El objetivo de este capítulo es presentar los modelos teóricos y algoritmos que se encuentran en la literatura y que sirven como base para resolver problemas de la distribución de mercancías, cabe aclarar que no se reportan en este trabajo métodos exactos de solución.

2.1 Origen de un PRV

El primer Problema de Rutas de Vehículos (PRV) planteado, fue el Problema del Agente Viajero (PAV⁹) o Travelling Salesman Problem (TSP) introducido por Flood en 1956.

El problema recibe este nombre porque puede describirse en términos de un agente vendedor que debe visitar n cantidad de ciudades en un solo viaje, de tal manera que inicie y termine su recorrido en la ciudad origen; no suele haber un depósito, y si lo hubiera no se distingue de los clientes, no hay demanda asociada a los clientes y tampoco hay restricciones. En esencia, el problema es un modelo de asignación con restricciones adicionales que garantizan un solo viaje que contribuye a la solución óptima.

⁹ Usaremos las siglas PAV para referirnos al Problema del Agente Viajero

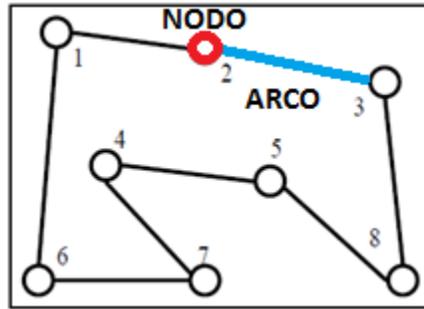


Ilustración 2.1 Recorrido de un PAV en ocho ciudades
Fuente: Artículo "Investigación de Operaciones Heurísticas para la solución del PAV"

2.1.1 Formulación matemática del problema del agente viajero.

El modelo matemático de programación lineal que describe el Problema del Agente Viajero (PAV) para el caso con n ciudades, se define según Toth, 2014:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si se llega de la ciudad } i \text{ a la ciudad } j \\ 0, & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

Si d_{ij} es la distancia de la ciudad i a la ciudad j , el modelo del agente viajero es el siguiente:

$$\text{Minimizar } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}, d_{ij} = \infty \text{ para } i = j$$

Sujeta a:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$x_{ij} = (0,1) \quad (3)$$

$$\text{La solución forma un circuito} \quad (4)$$

Las restricciones (1), (2) y (3) definen un modelo regular de asignación. En general, el problema de asignación producirá soluciones de subcircuito, más que un circuito completo que abarque las n ciudades. En la ilustración 2.2 se muestra un problema con 5 ciudades. Los arcos representan rutas

en dos sentidos. También se muestra una solución de circuito y subcircuito¹⁰ del modelo de asignación asociado. Si las asignaciones forman una solución del circuito, éste es óptimo. En caso contrario se agregan más restricciones al modelo de asignación para eliminar los subcircuitos.

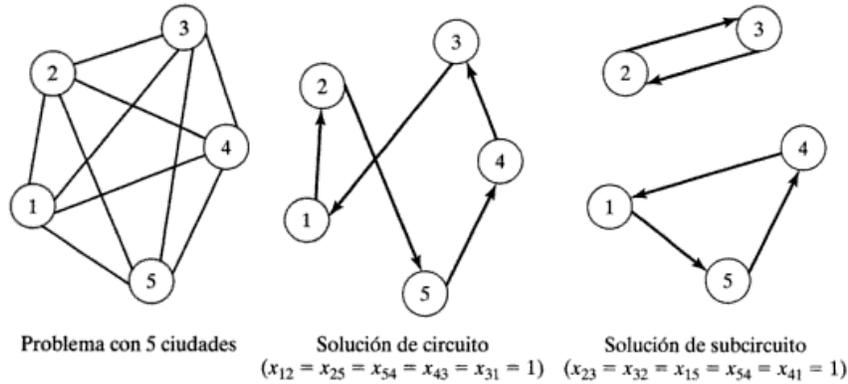


Ilustración 2.2 Ejemplo del PAV con cinco ciudades, soluciones de circuito y subcircuito para el modelo de asignación correspondiente

A continuación se presenta otra manera de plantear el problema enfocada al costo mínimo, como lo plantea Olivera, 2004.

$$\min \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeta a:

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (3)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta^+(i) \cap S} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E$$

¹⁰ Un subcircuito, o sub-tour, es un ciclo simple que no pasa por todos los vértices (arcos) del grafo.

En ésta las variables binarias x_{ij} indican si el arco (i, j) es utilizado en la solución. La función objetivo establece que el costo total de la solución es la suma de los costos de los arcos utilizados.

Las restricciones 2 y 3 indican que la ruta debe llegar y abandonar cada nodo exactamente una vez. Por último, la restricción 4, es llamada como restricción de eliminación de subcircuitos (Ilustración 2.3) e indican que todo subconjunto de nodos S debe ser abandonado al menos una vez. En este modelo las restricciones evitan que la solución conste de más de un ciclo.

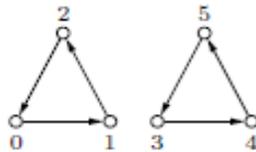


Ilustración 2.3 Solución formada por dos subcircuitos, omitiendo la restricción 4
Fuente: Olivera, 2004

El PAV marca la pauta para la solución de la mayoría de los problemas de ruteo de vehículos, pues los demás son generalizaciones de éste, es por eso que se considera el problema de ruteo más simple.

Una variante del PAV es el problema múltiple del agente viajero (M-PAV), el cual busca el sistema de rutas mínimas para M agentes viajeros que salen, hacen el tour y regresan a la misma ciudad base, cumpliendo que cada cliente sea visitado exactamente una vez por un agente.

Cuando un M-PAV tiene restricciones de capacidad de los vehículos o de longitud de las rutas se le llama Problema de rutas de vehículos (De la lama, 2010).

2.2 Descripción general de un PRV

El PRV (Problema de Ruteo de Vehículos) es uno de los más comunes en la optimización de operaciones logísticas y uno de los más estudiados porque es una extensión del PAV. A diferencia del problema del agente viajero, los componentes básicos del PRV son las solicitudes de transporte y cómo puede realizarse, la flota de vehículos, los costos y beneficios y la viabilidad de las rutas.

Es importante señalar que con el PRV se trata de diseñar rutas óptimas de distribución para atender clientes geográficamente dispersos, y tomando en cuenta que las rutas inician y terminan en un depósito.

También, se contemplan diferentes restricciones, como son el número de vehículos disponibles, la capacidad de las unidades, las ventanas de tiempo de los clientes y de los proveedores, la demanda que se debe cubrir, entre otras. Por eso, una formulación de este tipo puede incluir un amplio número de variables y diversos parámetros cuyo objetivo es minimizar el costo, asimismo, generar las rutas es un factor importante en la solución de estos problemas.

2.3 Tipos de PRV

Los Problemas de Ruteo de Vehículos forman una gran campo de investigación y desarrollo de aplicaciones para la solución. De hecho, el PRV y sus variantes se utilizan como puntos de referencia para el desarrollo de nuevos modelos y técnicas algorítmicas. Hay muchos problemas de ruteo que han sido definidos, y el análisis de éstos depende de las condiciones impuestas con el problema.

En esta sección se presentarán dos de las más importantes variantes que tiene el PRV, ya que el problema de distribución de mercancías tiene condiciones que estos modelos toman en cuenta. Para eso es importante definir los siguientes conceptos:

- Unidades con capacidad homogénea y heterogénea

Una de las restricciones que se presentan en los PRV es la del tipo de flota. Se consideran unidades con capacidad heterogénea cuando los vehículos utilizados para la distribución o recolección de mercancía tienen diferentes capacidades o los costos de estos son diferentes.

Respecto a las flotas homogéneas, es el contrario, son las que mantiene misma capacidad y mismo costo.

- Ventanas de tiempo

Las ventanas de tiempo son lapsos asociados a cada cliente (horario), durante los cuales se debe comenzar la prestación del servicio. Si el vehículo llega antes de la apertura de la ventana de tiempo, este tiene que esperar hasta que se abra para realizar la prestación del servicio.

2.3.1 PRV con restricciones de capacidad

El CVRP¹¹ es la versión más estudiada del PRV, aquí la capacidad de la flota se convierte en restrictiva para la formulación y cada cliente tiene una demanda asociada.

La formulación del CVRP que se presenta a continuación fue tomada de Toth, 2014. Se explica la notación y las variables básicas correspondientes al modelo.

2.3.1.1 Formulación del CVRP

En el CVRP, las solicitudes de transporte consisten en la distribución de mercancías desde un depósito único (este será denotado como punto 0) hasta un conjunto de n puntos, que hacen referencia a los clientes, $N = \{1, 2, \dots, n\}$.

La cantidad que debe ser entregada a los clientes $i \in N$ es la demanda, la cual está dada por un escalar $q_i \geq 0$, por ejemplo, el peso de los bienes que se van a entregar.

La flota de vehículos $K = \{1, 2, \dots, |K|\}$ se asume como homogénea, lo que significa que $|K|$ vehículos están disponibles en el depósito, todos tienen la misma capacidad $Q > 0$ y son operados al mismo costo.

Un vehículo que sirve a un subconjunto de clientes $S \subseteq N$ comienza en el depósito, se mueve a cada uno de los clientes de S y finalmente regresa al depósito. El recorrido de i hasta j genera un costo de viaje c_{ij} .

La información dada puede estructurarse mediante un grafo dirigido o no dirigido. Sea $V = \{0\} \cup N = \{0, 1, \dots, n\}$ un conjunto de vértices (o nodos). Es conveniente definir $q_0 = 0$ para el depósito. En caso simétrico, es decir, cuando el costo de moverse de i hasta j no depende de la dirección, es decir, de i a j y de j hasta i , el grafo fundamental $G = (V, E)$ es completo y no dirigido con borde conjunto $E = \{e = \{i, j\} = \{j, i\} : i, j \in V, i \neq j\}$ y el costo del borde c_{ij} para $\{i, j\} \in E$. De lo contrario, si al menos un par de vértices $i, j \in V$, tiene costos asimétricos $c_{ij} \neq c_{ji}$, entonces el grafo fundamental es un dígrafo completo $G = (V, A)$ con arco conjunto $A = \{(i, j) \in V \times V : i \neq j\}$, y el costo del arco c_{ij} para $\{i, j\} \in A$. En general, un CVRP se define únicamente por un grafo ponderado completo $G = (V, E, c_{ij}, q_i)$ o un dígrafo $G = (V, A, c_{ij}, q_i)$ junto con el tamaño $|K|$ de la flota de vehículos K y la capacidad del vehículo Q .

¹¹ Por su significado en inglés Capacitated Vehicle Routing Problem, se usarán estas siglas.

Una ruta (o tour) es una secuencia $r = (i_0, i_1, i_2, \dots, i_s, i_{s+1})$ con $i_0 = i_{s+1} = 0$, en el que el conjunto $S = \{i_1, \dots, i_s\} \subseteq N$ de clientes son visitados. La ruta r tiene un costo $c(r) = \sum_{p=0}^s c_{i_p, i_{p+1}}$. Es factible si la restricción de capacidad $q(S) := \sum_{i \in S} q_i \leq Q$ ningún cliente es visitado más de una vez, es decir, $i_j \neq i_k$ para todo $1 \leq j < k \leq s$. En este caso, se dice que $S \subseteq N$ es un conjunto factible. Una solución para el CVRP consiste en $|K|$ rutas factibles, una para cada vehículo $k \in K$.

Las rutas $r_1, r_2, \dots, r_{|K|}$ y su grupo correspondiente $S_1, S_2, \dots, S_{|K|}$ proporcionan una solución factible para el CVRP si todas las rutas son factibles y los grupos forman una partición de N . En conclusión, el CVRP consiste de dos tareas independientes:

- i) La partición del conjunto de clientes N en grupos factibles $S_1, S_2, \dots, S_{|K|}$
- ii) La ruta de cada vehículo $k \in K$ a través de $\{0\} \cup S_k$.

La tarea de este último requiere la solución de un TSP sobre $\{0\} \cup S_k$. Es por eso que ambas tareas están entrelazadas porque el costo de un grupo depende de la ruta y la ruta necesita grupos como insumo.

2.3.1.1.1 Notación básica

Sea $S \subseteq V$ un subconjunto arbitrario de vértices. Para los grafos no dirigidos, el conjunto de corte $\delta(S) = \{\{i, j\} \in E : i \in S, j \notin S\}$ (conjunto $E(S) = \{\{i, j\} \in E : i, j \in S\}$) es el conjunto de bordes con exactamente un (ambos) punto final (es) en S . Para grafos directos $G = (V, A)$, las entradas y salidas de los arcos de S están definidas como $\delta^-(S) = \{(i, j) \in A : i \notin S, j \in S\}$ y $\delta^+(S) = \{(i, j) \in A : i \in S, j \notin S\}$, respectivamente. Esto se ha convertido en un estándar para definir $\delta(i) := \delta(\{i\})$ para un semifalco $S = \{i\}$ (es similar $\delta^-(i)$ y $\delta^+(i)$). Por otra parte, $A(S) = \{(i, j) \in A : i, j \in S\}$ es el conjunto de todos los arcos conectados al vértice de S .

En el modelo se usa una notación condensada, donde para cualquier vector de variables o coeficientes x dados por $i \in J$ y cualquier subconjunto $I \subseteq J$, el término $x(I)$ significa $x(I) = \sum_{i \in I} x_i$.

Para un subconjunto de clientes $S \subseteq N$, sea $r(S)$ el mínimo de rutas de vehículos necesarias para atender a S .

Los siguientes modelos presentan formulaciones compactas, la cual es adecuada para resolver simples variantes del PRV (en este caso el CVRP). Por simples variantes se refiere a que la función objetivo y las restricciones se expresan como adiciones sobre los vértices visitados y enlaces recorridos, en comparación, por ejemplo, el costo dependiendo de la carga.

Además se integran variables de decisión x_{ij} para $(\{i, j\} \in E \text{ o } \{i, j\} \in A)$ que indican la frecuencia en la que un vehículo se mueve directamente entre i y j . Puesto que las variables tienen dos índices, las formulaciones se conocen como fórmulas de índice dos (flujo de vehículo).

- Modelo de grafos dirigidos con la notación tradicional.

$$\text{minimizar } \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1.1)$$

Sujeta a

$$\sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (1.2)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N$$

$$\sum_{j \in \delta^+(0)} x_{0j} = |K| \quad (1.3)$$

$$\sum_{(i,j) \in \delta^+(S)} x_{ij} \geq r(S) \quad \forall S \subseteq N, S \neq \emptyset \in N \quad (1.4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A \quad (1.5)$$

- Ahora se presenta el mismo modelo en forma condensada, usando los vectores y la notación condensada de sumatorias que se describió con anterioridad. Por otra parte, se va a establecer la formulación para grafos dirigidos codo a codo con la formulación de dos índices para el CVRP no dirigido.

	CVRP Dirigido	CVRP No dirigido
(1.1)	$\text{minimizar } c^T x$	$\text{minimizar } c^T x$
(1.2)	S.a. $x(\delta^+(i)) = 1$	$x(\delta^+(i)) = 2 \quad \forall i \in N$

2.3.2.1 Formulación del PRV con ventanas de tiempo

El modelo con ventanas de tiempo (Chi-Bin, 2008) que toma en cuenta una función de penalizaciones por costos de los vehículos y los costos de las demoras es como sigue:

Variables de decisión:

$$x_{ijk} \begin{cases} 1 \text{ si el vehículo } k \text{ viaja del nodo } i \text{ al nodo } j \\ 0 \text{ en otro caso} \end{cases}$$

$$y_{ik} \begin{cases} 1 \text{ si el vehículo } k \text{ atiende al cliente } i \\ 0 \text{ en otro caso} \end{cases}$$

Parámetros:

c_{ij} Costo de viajar del nodo i al nodo j .

K Conjunto de vehículos, $K = 1, \dots, m$

N Conjunto de clientes $N = 1, \dots, n$

$N' = N \cup 0$ Donde el nodo "0" denota el depósito.

N_k Conjunto de clientes atendidos por el vehículo k .

q_i Demanda del cliente i .

Q_k Capacidad del vehículo k .

s_i Tiempo de servicio para el cliente i .

t_{ij} Tiempo requerido para viajar del nodo i al nodo j .

d_k Tiempo de partida del vehículo k al depósito.

r_k Tiempo requerido del vehículo k para regresar a depósito.

M Escalar grande.

a_i Momento más temprano en que puede ser atendido el cliente i . (Si llega antes el vehículo, tiene que esperar).

b_i Último momento en el que el cliente i puede ser atendido.

$$\text{Min} \sum_{i \in N'} \sum_{j \in N'} \sum_{j \neq i} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk} + \sum_{i \in N} p_i(t_i) \quad (1.1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i \in N'} q_i y_{ik} \leq Q_k \quad \forall k \in K \quad (1.2)$$

$$\sum_{k \in K} y_{ik} = 1 \quad \forall i \in N \quad (1.3)$$

$$\sum_{k \in K} y_{0k} \leq m \quad (1.4)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ijk} = y_{jk} \quad \forall i \in N', \quad \forall k \in K \quad (1.5)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} = y_{jk} \quad \forall i \in N', \quad \forall k \in K \quad (1.6)$$

$$t_i \geq \max t, a_i + s_i + t_{ij} - M(1 - x_{ijk}), \quad \forall ij \in N, \quad \forall k \in K \quad (1.7)$$

$$d_k + \sum_{i \in N'} \sum_{j \in N' j \neq i} [x_{ijk} \max t, a_j + s_j] \leq r_k \quad \forall k \in K$$

$$p_i(t_i) = \begin{cases} \emptyset & \text{si } t_i < e_i \\ f_i^e + u_e(a_i - t_i) & \text{si } e_i \leq t_i < a_i \\ 0 & \text{si } a_i \leq t_i < b_i \\ f_i^l + u_l(t_i - b_i) & \text{si } b_i \leq t_i < l_i \\ \emptyset & \text{si } t_i < l_i \end{cases} \quad (1.9)$$

$$x_{ijk} \in 0,1, \quad y_{ik} \in 0,1 \quad \forall ij \in N', \forall k \in K$$

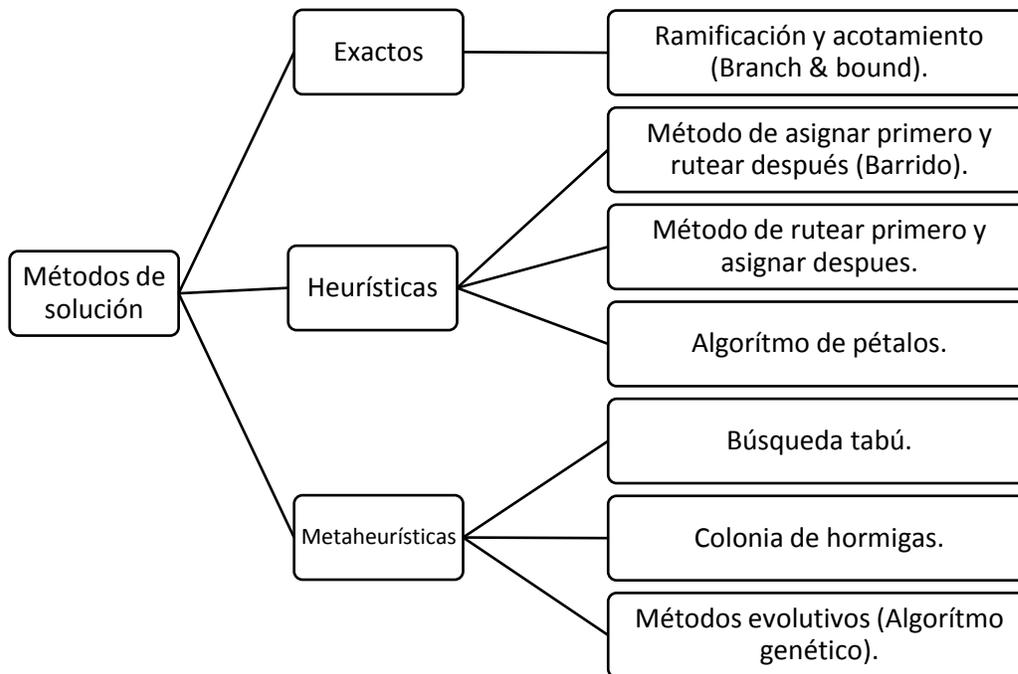
En este modelo se tiene como objetivo minimizar los costos de viaje tomando en cuenta las ventanas de tiempo (1.1). La restricción (1.2) se enfoca en la capacidad de los vehículos, la demanda de los clientes no debe exceder la capacidad del camión que se está empleando. En el caso de la ecuación (1.3) se especifica que cada cliente (nodo) debe ser visitado por un solo vehículo. Mientras que en la ecuación (1.4) asegura que el número de vehículos enviados por el centro de distribución debe ser menor o igual que el número de vehículos que se tienen en el centro para la distribución.

Las restricciones (1.5) y (1.6) hacen que el modelo esté balanceado para cada nodo, y la relación de precedencia entre dos nodos se da por la desigualdad (1.7).

La función (1.9) se refiere a las penalidades según el tiempo de llegada del vehículo, es decir, las ventanas de tiempo de servicio para cada cliente. Es por eso que se utiliza una función φ para las penalizaciones, si el vehículo llega fuera del intervalo a, b_i .

2.4 Métodos de solución del PRV

En este capítulo presentaremos los métodos utilizados para la solución de los problemas de rutas de vehículos. Las técnicas de solución para resolver el PRV que se van a describir se agrupan de tres maneras: métodos exactos, heurísticas y metaheurísticas (ver Cuadro 2.1).



Cuadro 2.1 Clasificación de los métodos de solución para el PRV
Fuente: Elaboración propia

2.4.1 Descripción de los métodos exactos

Los métodos exactos son eficientes en problemas hasta con 50 depósitos, entre ellos encontramos la programación lineal entera.

Los algoritmos de programación entera¹² tiene la función de relajar el espacio de soluciones del programa lineal entero omitiendo la restricción entera en todas las variables enteras, y sustituyéndola con cualquier variable binaria y que tenga el intervalo continuo $0 \leq y \leq 1$. El resultado del relajamiento es un programa lineal normal. Además busca resolver el programa lineal e identificar su óptimo continuo, una vez localizado iniciar en él e ir agregado restricciones especiales que modifiquen en forma iterativa el espacio de soluciones del programa lineal, en una forma que al final produzca un punto extremo que satisfaga los requisitos enteros.

El problema con los métodos exactos es que ninguno de ellos es efectivo computacionalmente en forma consistente (Taha, 2004).

¹² La programación lineal entera es aquella en la que alguna o todas las variables están restringidas a tener valores enteros, cuando las variable poseen esta característica al problema se le conoce como problema lineal entero puro. En caso contrario, es un programa entero mixto.

Sin embargo, a finales de los años ochenta, los métodos exactos más eficaces para la solución de los CVRP estaban basados en los algoritmos de Ramificación y acotamiento.

2.4.1.1 Ramificación y Acotamiento

El método de ramificación y acotamiento fue desarrollado en el contexto de resolver programas lineales con variables de decisión enteras. El proceso consiste en recorrer cada nodo del árbol desde el nivel superior hacia la base del árbol y resolviendo un programa lineal para cada nodo terminal y determinar que nodos pueden eliminarse. Un nodo se elimina (junto con sus descendientes) si no existe una solución factible; pero si existe solución factible se convierte en una cota inferior (subproblema). El algoritmo continúa con la solución de los subproblemas de programación lineal y termina cuando todos los nodos han sido revisados y la solución óptima es la de mayor cota inferior, es decir, el objetivo de éste método es que la solución del problema sea la mejor entre las soluciones óptimas de los subproblemas, por lo tanto debe producir una solución óptima para el problema de programación lineal que satisface las restricciones de enteros en las variables apropiadas.

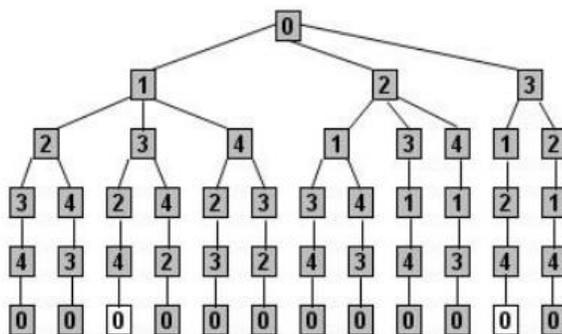


Ilustración 2.4 Ramificación y acotamiento PAV
Fuente: Barajas, 2009

2.4.2 Descripción de un heurístico

Para hallar la solución a un problema de optimización es muy común utilizar algoritmos de aproximación conocidos como heurísticos.

En general, el heurístico describe una clase de procedimientos que mediante una exploración limitada de espacio de búsqueda, por duración (número de operaciones) y tamaño (número de caracteres a codificar), proporcionan soluciones próximas al óptimo requerido, así como un criterio o un conjunto de criterios para evaluar el mérito de una solución. Estos problemas pueden indicar cómo encontrar los valores para un conjunto de variables de decisión para la cual hay una o más funciones objetivo que deben llegar a un mínimo o un valor máximo y que además pueden contemplar restricciones en los valores de las variables individuales o combinación de variables.

En contraste con los métodos exactos, que están diseñados para encontrar soluciones óptimas, los heurísticos encuentran soluciones que no son necesariamente óptimas pero lo hacen en menor tiempo. Además, la flexibilidad del enfoque heurístico permite la incorporación de características de problema realista que de lo contrario sería difícil modelar, también se utiliza dentro de un procedimiento exacto para generar una solución inicial o para guiar la búsqueda. La eficacia de una heurística depende de la calidad de las aproximaciones que produce.

2.4.3 Tipos de métodos heurísticos

Generalmente se desarrollan los heurísticos para una clase particular de problemas, es decir, las heurísticas dependen del contexto. Sin embargo, con el desarrollo de los metaheurísticos, han caído en desuso. A continuación se presentan dos métodos clásicos que todavía presentan un interés particular en la solución de los PRV.

2.4.3.1 Método del vecino más cercano

El método del vecino más cercano es un algoritmo heurístico diseñado para solucionar el problema del agente viajero, no asegura una solución óptima, sin embargo suele proporcionar buenas soluciones, y tiene un tiempo de cálculo muy eficiente. Se agrega la imagen 2.5 para dar ejemplo de la ejecución de este heurístico.

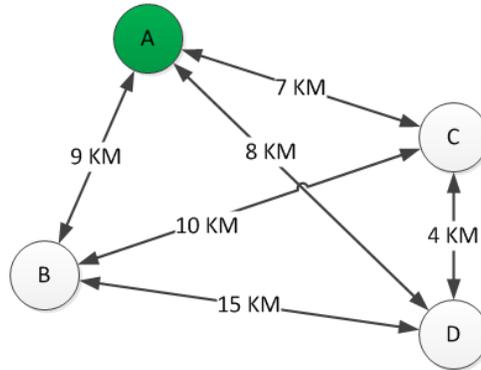


Ilustración 2.5 Método del vecino más cercano
Fuente: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas>

Consiste en una vez establecido el nodo de partida (A), evaluar y seleccionar su vecino más cercano (C). En la siguiente iteración habrá que considerar los vecinos más cercanos al nodo C (se excluye A por ser el nodo de origen). En la siguiente iteración los vecinos más cercanos de D serán C, con quien ya tiene conexión, A quién es el nodo de origen y B, por esta razón B se debe seleccionar por descarte. Al estar en B todos los nodos se encuentran visitados, por lo que corresponde a cerrar la red uniendo el nodo B con el nodo A, así entonces la ruta solución por medio del vecino más próximo sería A, C, D, B, A = 7, 4, 15, 9 = 35 km.

2.4.3.2 Algoritmo de los Pétalos

Este algoritmo es una extensión del algoritmo de barrido y se utiliza para generar varias rutas llamadas pétalos con el fin de hacer una selección final resolviendo un Sistema de Partición del Problema (Set Partitioning Problem, SPP). En éste método se tiene un conjunto de rutas (R), en las que cada cliente es visitado por varias de las rutas, el objetivo es seleccionar un subconjunto de la ruta que visite exactamente una vez a cada cliente, para eso se usa el SPP. En el caso en el que todas las rutas del conjunto sean factibles, solucionar un SPP es equivalente a resolver el problema en forma exacta.

La idea de resolver PRV a través de un sistema de partición fue propuesta como un algoritmo exacto de Balinski y Quandt, pero resultó ser poco práctico porque el número de rutas posible suele ser extremadamente grande y requiere la solución de un problema NP-hard¹³.

Este algoritmo es especialmente adecuado para problemas con restricciones, tales como ventanas de tiempo, capacidades y duración de ruta.

2.4.4 Descripción de un metaheurístico

Las metaheurísticas son una clase de métodos de aproximación, diseñados con el fin de optimizar los resultados para cierta clase de problemas, generalmente complejos, para los cuales las heurísticas de propósito especial han fracasado en dar resultados efectivos y eficientes. Las metaheurísticas proporcionan marcos generales que permite crear nuevos híbridos combinando diferentes conceptos derivados de las heurísticas clásicas, la inteligencia artificial, la evolución biológica, los sistemas neuronales. Estas familias de enfoques incluyen algoritmos genéticos, redes neuronales, búsqueda tabú, colonia de hormigas y recocido simulado (Ríos, 2000).

La mayoría de metaheurísticas son tan robustas (con bajas probabilidades de dar una mala solución) que pueden adaptarse a diferentes contextos. Así, al enfrentarnos a un problema de optimización, podemos escoger cualquiera de estos métodos para diseñar un algoritmo específico que lo resuelva, pues realizan una mejor exploración del espacio de soluciones.

A pesar de que otorgan un resultado más acertado que las heurísticas clásicas incurren en mayores tiempos de ejecución.

2.4.5 Tipos de métodos metaheurísticos

El desarrollo de estos algoritmos está latente en la actualidad, ahora se va a describir aquellos procedimientos relativamente consolidados y que han probado su eficacia al resolver problemas de ruteo, pues son los que tienen mayor uso (Martí, 2003).

¹³ Un problema es considerado NP-hard si el número de cálculos necesarios para resolverlo crece exponencialmente con un parámetro del problema.

2.4.5.1 Búsqueda Tabú

Los orígenes del método se encuentran en trabajos publicados a finales de los años 70, pero oficialmente el nombre y la metodología fueron introducidos por Fred Glover en 1989.

Búsqueda Tabú es una técnica para resolver problemas combinatorios de gran dificultad, está basada en los principios generales de la Inteligencia Artificial (IA). Se utiliza para guiar cualquier procedimiento de búsqueda local en una búsqueda más minuciosa del óptimo, es decir, se pretende evitar que la búsqueda local tenga soluciones que caiga en óptimos locales y no globales. Para esto, la búsqueda tabú toma de la IA unas estructuras de memoria.



Ilustración 2.6 Diagrama de flujo Búsqueda tabú
Fuente: Barajas, 2009

En la memoria a corto plazo, se crea una lista tabú con las soluciones recientemente visitadas evitando que la búsqueda tenga ciclos, es por eso que el procedimiento trata de extraer información característica de lo sucedido, en vez de almacenar soluciones completas, y actuar en consecuencia. Así, a largo plazo, permite que se identifiquen y mantengan aquellos atributos que inducen una cierta estructura beneficiosa en las soluciones visitadas.

En la memoria a largo plazo se guardan las frecuencias u ocurrencias de atributos en las soluciones visitadas tratando de identificar o diferenciar regiones. Ésta memoria tiene dos estrategias asociadas: intensificar y diversificar la búsqueda.

La intensificación consiste en regresar a regiones ya exploradas para estudiarlas más a fondo. Para ello se favorece la aparición de aquellos atributos asociados a buenas soluciones encontradas.

La Diversificación consiste en visitar nuevas áreas no exploradas del espacio de soluciones. Para ello se modifican las reglas de elección para incorporar a las soluciones atributos que no han sido usados frecuentemente (ver Tabla 2.1).

Memoria	Atributo	Estrategias	Ámbito
Corto plazo	Reciente	Tabú (lista de candidatos)	Local
Largo plazo	Frecuente	Intensificación y diversificación	Global

Tabla 2.2.1 Elementos de la Búsqueda Tabú
Fuente: Martí, 2003

2.4.5.2 Colonia de hormigas

El método está basado en el comportamiento de búsqueda de alimento de las hormigas. Cuando realizan esta labor, las hormigas encuentran los caminos más cortos entre el hormiguero y las fuentes de alimento. A pesar de que no pueden hacer uso de su sentido visual, porque carecen casi completamente de él, estos insectos buscan el alimento moviéndose aleatoriamente y en el proceso segregan una sustancia llamada feromona. De esta manera las hormigas que encuentren primero el alimento van a regresar más rápido al hormiguero y van a dejar en el camino una concentración mayor de feromona la cual va a ser seguida por las demás hormigas dejando la búsqueda aleatoria, es así como las hormigas empiezan a seguir el mejor camino hacia la fuente de alimentación.

En el algoritmo cada hormiga es un vehículo y se definen parámetros en los arcos, como niveles de feromona, para ir de un nodo a otro. Además se actualizan los niveles de feromona como si ésta se evaporará para evitar caer en óptimos locales.

En general la colonia de hormigas es una heurística empleada para resolver problemas de cubrimiento de nodos y hallar distancias más cortas, es por eso que es un método apropiado para tratar el PRV.

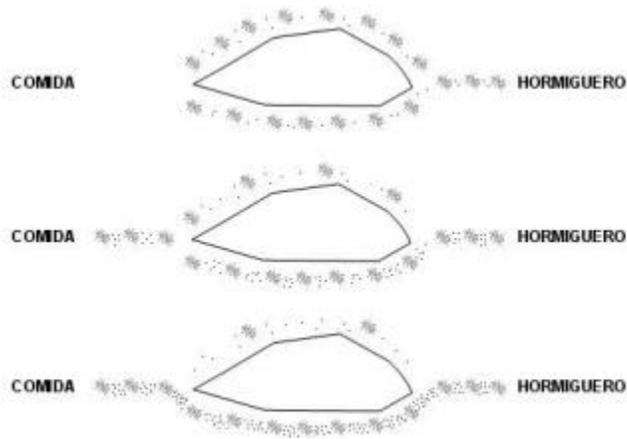


Ilustración 2.7 Colonia de hormigas
Fuente: Barajas, 2009

2.4.5.3 Algoritmo Genético

Las técnicas de algoritmo genético fueron introducidas por John Holland en 1970, inspirado en la teoría de la evolución darwiniana, en donde los individuos tienen que adaptarse a un ambiente en cambio constante y solo sobreviven los que evolucionan para reproducirse y mantener el código genético.

En el caso de los algoritmos genéticos, se escogen las mejores soluciones y se mezclan de tal manera que se contemple la mejor característica de cada una para encontrar soluciones aproximadas a problemas de gran complejidad computacional mediante un proceso de evolución simulada.



Ilustración 2.8 Algoritmo genético básico
Fuente: Barajas, 2009

El algoritmo opera sobre una población de soluciones codificadas, llamadas individuos. Para cada individuo se define una función de aptitud (Fitness) $f(i)$ que califica su capacidad, de modo que cuando es mayor la aptitud del individuo, mejor es la solución. En cada iteración se aplican operadores evolutivos que combinan y modifican a los individuos de la población, creando una nueva.

Usualmente, se trabajan tres operadores: evaluación, selección y operadores genéticos.

En la evaluación de los individuos se revisa el fitness de cada uno contemplando todos los aspectos que hacen al individuo bueno o malo. Este operador genera una población intermedia (o mating pool) cuya cantidad de individuos depende de las características del operador de cruzamiento utilizado (los operadores son generalmente probabilísticos).

En el siguiente procesos se hace la selección de los individuos que van a cruzarse, para esta parte del algoritmo genético existen diversas técnicas para seleccionar los padres, entre las que están: el método elitista, en el cual se escogen los mejores individuos; el método de ruleta, en donde los mejores individuos tienen una mayor probabilidad de ser escogidos; y muchas más técnicas que permiten tener un mejor comportamiento del modelo teniendo en cuenta el problema a solucionar (Martí, 2003).

Después se aplica un operador probabilístico de cruce y uno de mutación. El cruce permite crear posibles mejores nuevos sujetos que sean producto de los individuos seleccionados en el paso anterior, se define una probabilidad de cruce para establecer si en cierta generación se realiza el cruce. La mutación es aplicada generalmente a cada individuo después del cruce, también se define una probabilidad de mutación.

Finalmente está el criterio de terminación que corresponde al número de iteraciones (generaciones) o bien, al valor del fitness que haya alcanzado algún individuo.

El uso de algoritmos genético para la solución de un PRV es extenso, pero una de las representaciones más utilizada es en la que el cromosoma está definido por los clientes y el orden en el que van a ser visitados. Con esta representación la medición del Fitness podría consistir, por ejemplo, en calcular el negativo del costo de recorrer la distancia total asociada a cada individuo, teniendo como mayor Fitness un menor costo asociado.

3 Uso de WinQSB

WinQSB (Quantitative System Business) es un sistema interactivo que brinda varias herramientas para ayuda a la hora de tomar decisiones en problemas del campo de las ciencias de gestión, investigación de operaciones y métodos cuantitativos. Fue creado en el año 1985 por Yin-Long Chang profesor del Instituto Tecnológico de Georgia.

Se compone de 19 módulos que resuelven un problema en específico:

- 1.- Acceptance Sampling Analysis (Análisis De Muestreo De Aceptación)
- 2.- Aggregate Planning (Planeación Agregada)
- 3.- Decision Analysis (Análisis De Decisiones)
- 4.- Dynamic Programming (Programación Dinámica)
- 5.- Facility Location And Layout (Diseño Y Localización De Plantas)
- 6.- Forecasting (Pronósticos)
- 7.- Goal Programming (Programación Por Objetivos)
- 8.- Inventory Theory And System (Teoría Y Sistemas De Inventarios)

- 9.- Job Scheduling (Programación De Jornadas De Trabajo)
- 10.- Linear And Integer Programming (Programación Lineal Y Entera)
- 11.- Markov Process (Procesos De Markov)
- 12.- Material Requirements Planning (Planeación De Requerimiento De Materiales)
- 13.- Networks Modeling (Modelación De Redes)
- 14.- Nonlinear Programming (Programación No Lineal)
- 15.- Pert Y Cpm
- 16.- Quadratic Programming (Programación Cuadrática)
- 17.- Quality Control Chart (Cartas De Control De Calidad)
- 18.- Queuing Analysis (Análisis De Sistemas De Cola)
- 19.- Queuing Analysis Simulation (Simulación De Análisis De Sistemas De Cola)

Los mecanismos de este programa son similares a la interfaz que maneja Windows y hace que el manejo sea similar.

En todos los módulos existe un menú con opciones básicas (crear nuevo archivo, guardar, imprimir, etc.), otro para editar los datos o la forma en la que quieres que arroje el resultado y el formato en que lo requieres mostrando los resultados paso a paso o los datos finales.

Para poder instalarlo se necesita una máquina con Procesador Intel Celeron 566 Mhz o superior, 64 Mb RAM, Disco Duro 10 Gb, Tarjeta Gráfica 8Mb SVGA ATI RAGE 3D AGP, sistema operativo microsoft Win98/98SE/Me/2000/NT/XP/2003/Vista/Win7, licencia freeware (gratis), tamaño del software 3.7 mb, última versión 2.0 y arquitectura de 32 bits.

A pesar de que no es sencilla la instalación por las características técnicas que se requieren utilizarlo es dinámico y versátil.

3.1 Modelo de redes de WinQSB

Este módulo permite elegir entre 7 modelos que involucran redes con el objetivo de optimizar los recursos minimizando costos, tiempo, distancias o bien, maximizando el flujo a través de la red.

Los modelos que presenta son:

1. Flujo en redes o modelo de trasbordo (Network Flow)
2. Problema de transporte (Transportation Problem)

3. Problema de asignación (Assignment Problem)
4. Problema de la ruta más corta (Shortest Path Problem)
5. Problema de flujo máximo (Maximal Flow Problem)
6. Árbol de mínima expansión (Minimal Spanning Tree)
7. Problema del agente viajero (Traveling Salesman Problem)

Para utilizar esta sección es recomendable Analizar el problema para definir la red y numerar adecuadamente cada uno de los nodos para después ingresar el problema y obtener un resultado apropiado (Colmenero, 2009).

WinQSB también nos permite un planteamiento y resolución de manera gráfica como un problema de flujo en redes. Así, una vez introducido el problema podemos pasarlo a forma gráfica.

3.1.1 Problema del agente viajero (Traveling Salesman Problem)

Para desarrollar un problema en este módulo se siguen los lineamientos básicos del PAV, involucrando un conjunto de nodos y arcos que se conectan entre sí y forman una red. El objetivo es encontrar la forma de realizar una gira completa que conecte todos los nodos visitándolos una vez para minimizar o maximizar el recorrido.

Para resolver un problema en este apartado, WinQSB presenta cuatro métodos de solución:

1. El método del vecino más cercano (Nearest Neighbor Heuristic). Procedimiento heurístico que parte de un nodo y se va moviendo al nodo de menor coste adyacente hasta que se ha pasado por todos los nodos.
2. Cheapest Insertion Heuristic: Este método procede de la siguiente manera:
 - I. Se seleccionan dos nodos, i y j , que se encuentren a menor distancia, formando el subciclo i - j - i .
 - II. Para todos los nodos que no se encuentren en el subciclo anterior, se selecciona el nodo k de tal manera que minimice la cantidad $C(i,k)+C(k,j)-C(i,j)$ para todo par de nodos (i,j) del subciclo. (Nota.- $C(i,j)$ denota la distancia entre los nodos i y j).
 - III. Introducir el nodo k en el subciclo y volver al paso 2, hasta conectar todos los nodos.
3. Bisección de un ciclo (Two-way Exchange Improvement). Dada una solución del problema, se eliminan dos arcos no adyacentes (i,j) y (k,l) de tal manera que se generan dos

conjuntos disjuntos de nodos A y B. Formar un nuevo ciclo conectando A y B mediante los arcos (k,i) y (l,j) y calcular el valor de la nueva función objetivo, teniendo en cuenta que se cambia el sentido en uno de los conjuntos (A ó B).

Teniendo en cuenta esta definición el heurístico procede de la siguiente manera:

- I. Generar una solución por uno de los métodos anteriores.
 - II. Chequear todas las posibles bisecciones del ciclo. Si no se produce mejora parar.
 - III. Seleccionar la bisección que proporciona un mejor valor para la función objetivo, construir el ciclo correspondiente e ir al paso 2.
4. Ramificación y Acotación (Branch-and-bound Method): Este método nos proporciona la solución óptima exacta planteando el problema como un problema de programación entera 0-1. En el caso en el que el número de nodos sea grande el coste computacional puede ser posible.

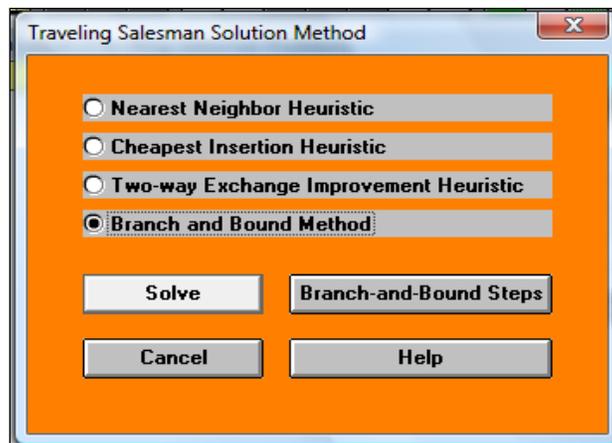


Ilustración 3.1 Métodos de solución para el PAV

4 Caso de estudio: Distribución de abarrotes a comedores industriales

El problema actual de la empresa SODEXO radica en que no cuenta con rutas para distribuir abarrotes a comedores industriales, en este capítulo se explica el problema de distribución de abarrotes a comedores industriales sobre la región del Valle de México y la metodología de solución.

4.1 Metodología de solución

Para dar solución a este caso de estudio se va a comenzar definiendo el problema y sus características. Posteriormente se realizará la zonificación, que consiste en segmentar a los clientes en grupos; esto es partir la región en zonas y poder asignarles un vehículo. En esta parte se determina la forma y la orientación de la zona, tomando en cuenta el tiempo permitido para la distribución, la demanda, capacidad de los vehículos y su disposición y la evaluación del costo logístico de reparto.

Para conocer el orden de recorrido de los puntos dentro de cada una de las zonas, se usará un modelo de redes de WINQSB, ingresando como datos los tiempos de distribución.

El resultado al caso de estudio será la alternativa de rutas de distribución que mejor cumpla con las restricciones y tenga el costo más bajo.

4.1.1 Descripción del Sistema

SODEXO tiene sus orígenes en Marsella, Francia y hace su aparición en México en el año de 1990. En nuestro país, SODEXO cuenta con tres subsistemas que persiguen un fin común, posicionarla como la empresa líder en servicios de calidad de vida.

Los servicios integrales que conforman a la empresa son: Sodexo Pass que maneja; Facilities Management que se encarga de coordinar el mantenimiento y limpieza en plantas y corporativos; el área de FIX que se encarga de administrar instalaciones; y el área de Food que tienen a su cargo comedores industriales dentro de grandes compañías.

Esta última área, para fomentar las buenas prácticas tiene los departamentos de higiene y control de calidad, nutrición, seguridad industrial, y ahora con la creación de un centro de distribución, estos departamentos en conjunto con finanzas y compras rompen paradigmas para crear un

departamento de logística dentro de la empresa, el cual gestiona el almacén y se encarga de la distribución de materia prima a sus clientes internos, los comedores industriales.

4.1.2 Definición del problema

El problema se suscita cuando el CDIS comienza sus actividades en 2016. Como se ha descrito con anterioridad, la distribución es el último eslabón de la cadena de suministro, es aquí donde se garantiza el servicio que se le da los comedores industriales empleando los recursos que la empresa tiene para hacer el reparto al costo más bajo. Actualmente no puede proporcionarse en las mejores condiciones porque no se tienen rutas de distribución definidas que garanticen que la materia prima va a llegar en tiempo y forma a su respectivo destino.

Arrancó su operación realizando la distribución de abarrotes a catorce comedores; meses después de la apertura, se incluyeron los ocho sitios restantes, dando el total de los veintidós comedores ubicados en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

La demanda de los comedores es posible de conocer con los datos históricos que se tienen registrados, los cuales son arrojados por el sistema ERP que maneja la empresa. Además, las requisiciones de cada sitio se dan en base al menú que es estandarizado y cíclico, es decir cada ocho semanas vuelve a repetirse. Por lo tanto la requisición de abarrotes se da de acuerdo al número de comensales que atiende cada comedor.

Lo que se espera es que cada comedor sea visitado una vez por semana, en estos momentos eso no se cumple, ya que los dos vehículos disponibles visitan hasta dos veces por semana un mismo comedor para el reparto de abarrotes e incluso se entregan junto con cárnicos u otra familia, rompiendo lo estipulado por el departamento de higiene y creando problemas de contaminación cruzada.

Además, al no existir rutas de distribución, la capacidad de las unidades de transporte y el tiempo permitido por los comedores para las entregas no son tomados en cuenta. Esto genera que el costo de distribución incremente al consumir más combustible y al pagar horas extras a los trabajadores. Se debe considerar que hay otras familias de productos que también deben ser entregados por los mismos vehículos, y por cuestiones de calidad que maneja la empresa el reparto debe realizarse independiente, aquí radica la importancia de definir las rutas para que sean utilizadas de la misma manera para el reparto de las otras familias, enfocado en los abarrotes, que son los que presenta mayor volumen.

El objetivo de este estudio es el diseño de las rutas de distribución de abarrotes para todos los comedores industriales del Valle de México tomando en cuenta la flota homogénea con la que cuenta la empresa, la demanda de los comedores, las ventanas de tiempo de cada uno y las características de la zona de estudio haciendo uso del modelo de redes y obteniendo el costo más bajo.

4.1.3 Distribución de mercancías en el Valle de México.

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM¹⁴) se caracteriza por su alta concentración poblacional (20% de la población total del país). A comienzos del siglo XXI ha presentado una expansión hacia las delegaciones del poniente, oriente, norte y en mayor medida hacia los municipios del Estado de México. Este proceso ha provocado cambios en los patrones de viaje, lo que desemboca en una mayor contingencia vial, problemas ambientales, daños a la salud y que una persona invierta en promedio 3.5 horas al día de traslado (INEGI, 2007).

Datos del INEGI dictaminan que en la ZMVM hay un total de 6.5 millones de vehículos registrados, de los cuales 176 272 mil son unidades de transporte de carga mercantil y privado; que para satisfacer la demanda de energía, con viajes largos y velocidades lentas, requieren de 4.5 millones de litros de diésel, 18 millones de litros de gasolina y 700 mil litros de gas diariamente (INEGI, 2010).

Para el caso de estudio se hablará de la red vial de la ZMVM, y se hará énfasis en las vialidades por las que el transporte de carga tiene restricciones.

4.1.3.1 Vialidades

La red vial en la Zona metropolitana se diseña y se planifica en función de las necesidades del transporte privado. Se estima que los tramos con graves problemas de congestionamiento suman 25% de la longitud total. En la actualidad la velocidad promedio en horas pico (6:00 a 10:00, de 12:00 a 16:00 y de 18:00 a 22:00 horas) se encuentra entre 11 y 20[km/hora] lo que implica que el transporte de mercancías tenga dificultades para realizar las entregas, eso aunado a la mala sincronización de los semáforos y a las medidas que el gobierno ha tomado con los reglamentos de tránsito y estrategias de movilidad.

¹⁴ Hasta diciembre de 2005 estuvo conformada por las 16 delegaciones del Distrito Federal (DF) y 18 municipios del estado de México. Actualmente está conformada por 76 entidades federativas, 59 del Estado de México, 1 de Hidalgo y las 16 delegaciones (Sedesol, 2007).

Para el tipo de vehículos que se utilizaran en este estudio (descritos en el punto 4.1.4) las restricciones de circulación de acuerdo a los reglamentos de tránsito son las siguientes:

- I. Circular por el carril de la extrema derecha y usar el izquierdo sólo para rebasar o dar vuelta a la izquierda.
- II. Realizar maniobras de carga y descarga en lugares seguros, sin afectar o interrumpir el tránsito vehicular.
- III. No circular por carriles centrales y segundos niveles de las vías de acceso controlado o donde el señalamiento restrictivo así lo indique.
- IV. No estacionar el vehículo fuera de un lugar autorizado.
- V. Al estacionarse u ocupar la vía pública, se deberá hacer de forma momentánea, provisional o temporal, sin que represente una afectación al desplazamiento de peatones y circulación de vehículos. En zonas en las que exista sistema de cobro, deberán estacionarse en los lugares designados para el transporte de carga. El costo es el mismo que el de un auto particular, la única desventaja es que son cajones exclusivos para carga y descarga y muchas veces se encuentran lejos del cliente.
- VI. Por distribuir productos alimenticios no aplica la restricción de horarios de circulación y no pueden ser remitidos al depósito. Únicamente pagar la multa en caso de infracción.

En la ilustración 4.1 se exhiben las vialidades que presentan una circulación lenta en horas pico a causa del transporte de carga. Además se incluyen las principales carreteras y autopistas que son el acceso al valle de México.

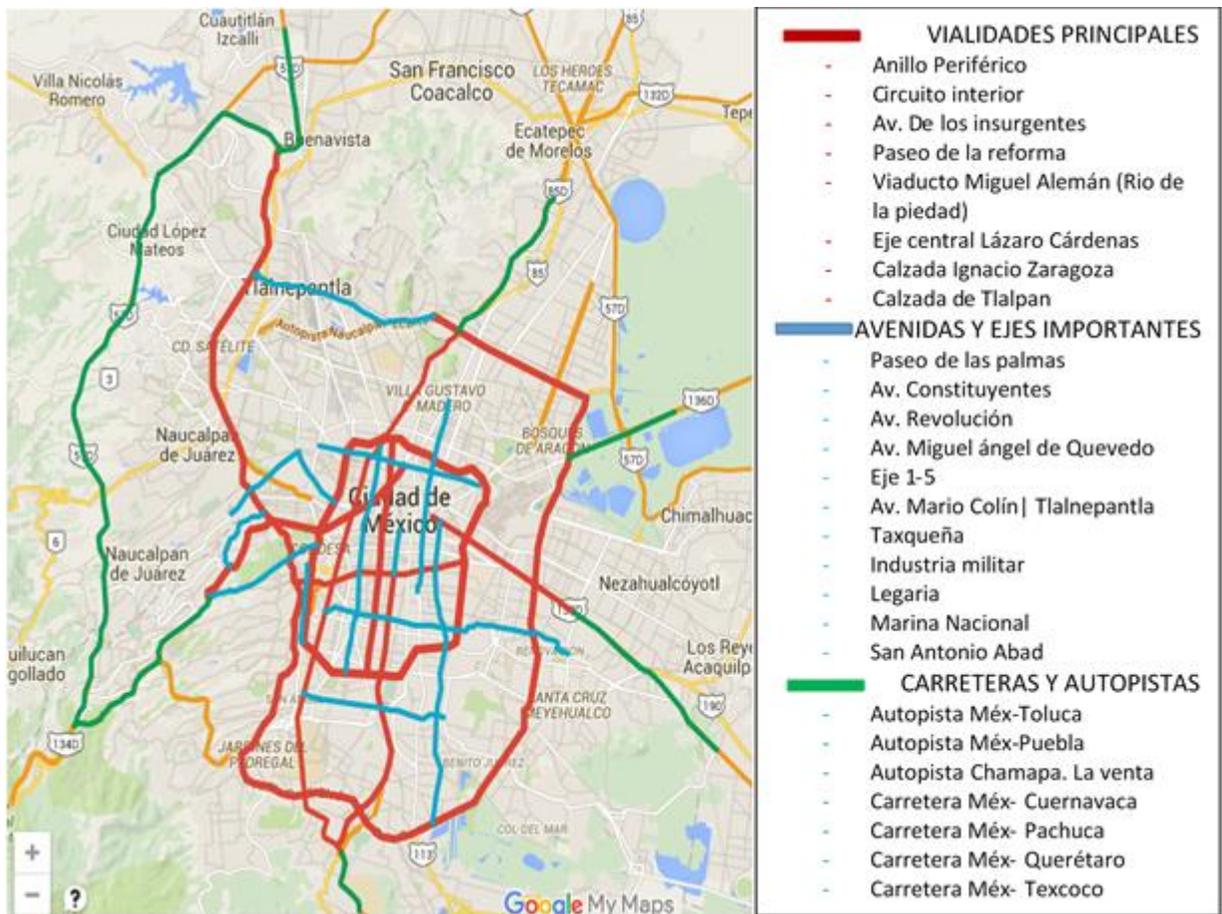


Ilustración 4.1 Vías afectadas por la circulación de transporte de carga.
Fuente: Elaboración Propia

4.1.4 Descripción de la flota de vehículos

El CDIS de SODEXO cuenta con dos vehículos ISUZU ELF 500 K (Ver ilustración 4.1). Es importante mencionar que son arrendados, por lo tanto el control vehicular es designado a un tercero.

Se cuenta con dos choferes y dos ayudantes de reparto para realizar las entregas, el horario laboral que estipula la empresa es de 6:00 a 15:00, después de ese tiempo se pagan horas extra



Ilustración 4.2 Vehículos Isuzu ELF 500 K

El rendimiento promedio de cada uno de los camiones es de 4.23 kilómetros por litro. A continuación se muestra una tabla con el registro que ha tenido uno de los vehículos dentro del área metropolitana en un periodo de cinco meses.

Kilómetros recorridos [km]	Litros [l]	Importe del combustible \$	Rendimiento [km/l]
301	109.1796809	\$ 1,300.33	2.756923243
356	83.96305626	\$ 1,000.00	4.23996
485	117.4643157	\$ 1,399.00	4.12891351
242	78.75018155	\$ 1,084.39	3.073008788
537	109.5998548	\$ 1,509.19	4.89964153
519	116.2018882	\$ 1,600.10	4.466364602
111	32.68990559	\$ 450.14	3.395543609
1168	160.2149601	\$ 2,206.16	7.290205606
237	63.65141612	\$ 876.48	3.723404984
1076	244.6623094	\$ 3,369.00	4.397898486
413	87.61002179	\$ 1,206.39	4.714072564
1071	242.7458243	\$ 3,342.61	4.412022342
385	92.49092229	\$ 1,273.60	4.162570666
527	112.5969499	\$ 1,550.46	4.680410975
445	113.4502542	\$ 1,562.21	3.922424002

Tabla 4.4.1 Rendimiento ISUZU ELF 500 K
Fuente: elaboración propia

4.1.4.1 Características de las unidades de transporte

Cada vehículo cuenta con caja refrigerada y tres puertas. Tienen un Thermo King T-580 R (Ver ilustración 7.1) que en el interior de la caja ocupa un volumen de 0.623 m^3 , pero para obtener el volumen neto de los camiones también que contemplar que lo productos deben ir entarimados. A cada camión le caben siete tarimas estándar que ocupa un volumen de 1.344 m^3 y sobra un espacio que está destinado para los carros transportadores, el cuál resta 1.96 m^3 a la capacidad disponible.

Las características se muestran en la siguiente tabla:

MODELO	MEDIDAS INTERIORES			COMBUSTIBLE		CAPACIDAD	
ISUSU ELF 500 K	LARGO [m]	ANCHO [m]	ALTO [m]	TIPO DE COMBUSTIBLE	CAPACIDAD DEL TANQUE [litros]	VOLÚMEN NETO [m^3]	CAPACIDAD [kg]
	4.68	2.08	1.96	Diésel	140	15.15	5443

Tabla 4.4.2 Características de los vehículos
Fuente: Elaboración propia

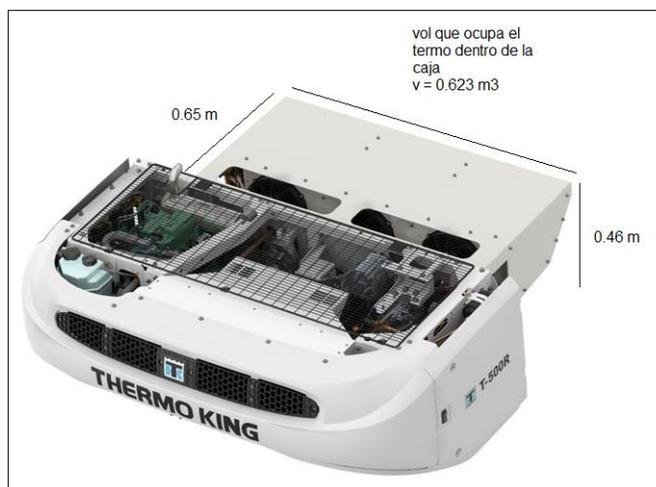


Ilustración 4.3 Thermo King T-580 R
Fuente: Edición propia

4.1.4.2 Restricciones de los vehículos

Los vehículos tienen caja refrigerada porque la empresa transporta productos congelados y refrigerados, por esa razón las rutas se deben definir de tal manera que los vehículos realicen la distribución de abarrotes en dos días de la semana.

4.1.5 Punto de suministro

El Centro de Distribución SODEXO (CDIS SODEXO) es una bodega arrendada que cuenta con oficinas, estacionamiento, y cuatro andenes para la carga y descarga de los productos. A este punto arriban los proveedores con la materia prima que posteriormente debe ser distribuida a los comedores.

Este punto de distribución fue seleccionado principalmente por los siguientes aspectos:

- Ubicación estratégica para la distribución.
- La zona industrial que permite el acceso de proveedores sin la obstrucción de avenidas principales.
- Costo de la renta.
- Condiciones de la inmobiliaria. Cuenta con oficinas espaciosas para albergar alrededor de cincuenta personas.
- Todos los servicios, (luz, agua, teléfono).



Ilustración 4.4 Andenes de carga y descarga CDIS SODEXO



Ilustración 4.5 Almacén CDIS SODEXO

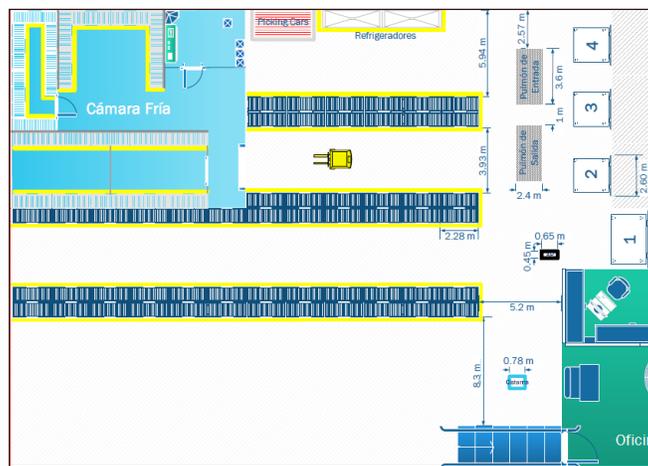


Ilustración 4.6 Lay out Almacén
Fuente: Elaboración propia

4.1.5.1 Capacidad de oferta del punto de suministro

El establecimiento es de $1,594 m^2$ de los cuales $1,167.11 m^2$ se disponen para el almacén.

Para el manejo de abarrotos se ocupan aproximadamente $476 m^2$ que corresponde al 40% del tamaño total del almacén.

4.1.5.2 Nivel de servicio CDIS-Comedores

El nivel de servicio que maneja la empresa es un objetivo de desempeño, en este caso se evalúa en términos de la tasa de abastecimiento o Fill Rate, que es un indicador que mide el porcentaje de la cantidad que se entrega a los clientes con respecto a lo que se solicitó.

En un periodo de seis meses, el CDIS ha reportado un nivel de servicio 82.4% (Ver Tabla 4.3) estimado con base en el número de piezas.

MES	Piezas solicitadas	Piezas enviadas	NIVEL DE SERVICIO EN PIEZAS
ENERO	7646.1	7178.3	88.43%
FEBRERO	7832.61	7260.11	90.63%
MARZO	8259.63	7072.37	84.61%
ABRIL	8591	6629.93	87.01%
MAYO	37122.4	26705.48	79.79%
JUNIO	29320.35	23547.33	79.49%
Total general	98772.09	78393.52	82.40%

Tabla 4.4.3 Nivel de servicio en piezas CDIS-COMEDORES
Fuente: elaboración propia

4.1.5.3 Ubicación del CEDIS

El CDIS SODEXO está ubicado en Tlalnepantla de Baz, Méx. Se encuentra entre la avenida Gustavo Baz Prada y tiene salida a Periférico Norte, lo que permite que los vehículos se incorporen a vialidades grandes que tienen conexión con avenidas principales, tomando en cuenta las restricciones para el transporte de carga en avenidas principales.

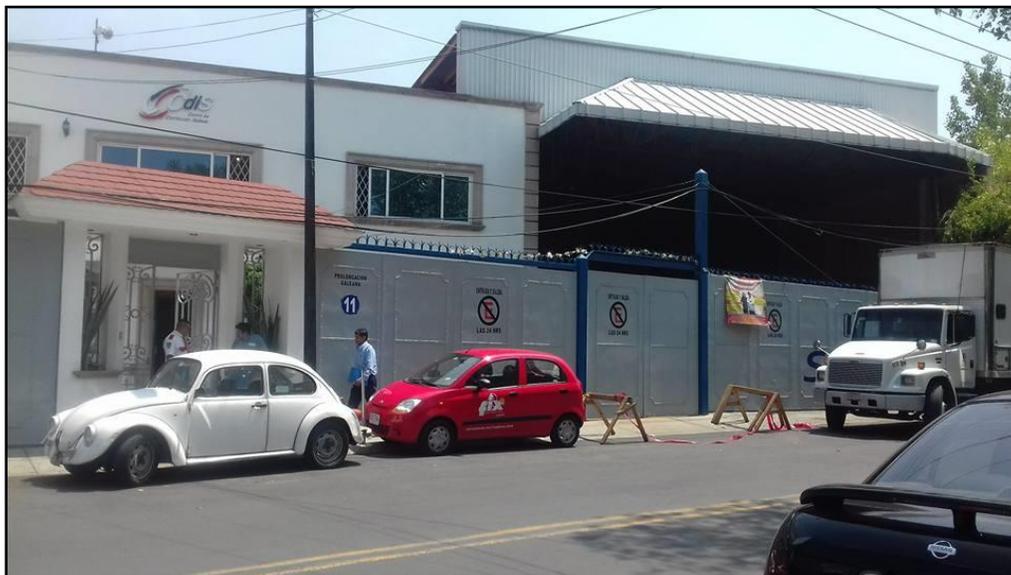


Ilustración 4.7 Dirección física del CDIS

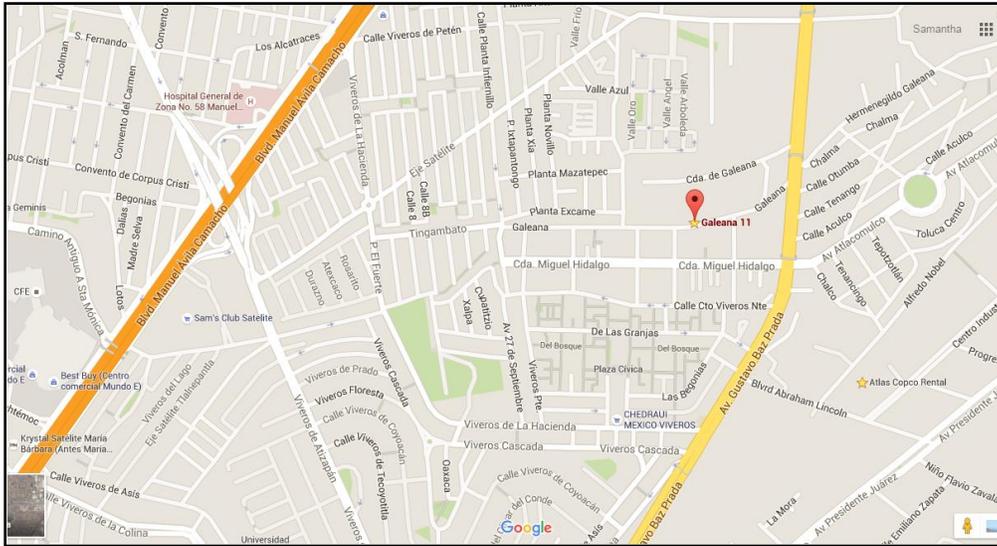


Ilustración 4.8 Imagen street CDIS SODEXO

4.1.6 Puntos de destino

Los puntos de entrega son los 22 comedores industriales que la empresa tiene en la ZMVM. En este trabajo se va a identificar a cada comedor con el nombre de la empresa en donde se encuentra.

4.1.6.1 Demanda de cada punto

La Tabla 4.4 muestra los puntos de entrega, en la primera columna se presenta el nombre del comedor, en la segunda se especifica el número de comensales que atiende cada uno y finalmente podemos ver el promedio de la demanda semanal que han registrado en seis meses¹⁵.

¹⁵ En el ANEXO I se presenta la base de datos de donde se extrajo la demanda de cada sitio

COMEDOR	Número de Comensales	DEMANDA SEMANAL		
		EN PIEZAS	EN PESO [kg]	Volumen [m3]
ACEROS CORSA	150	572.5395	424.53	0.9
AT&T	100	160.803	319.5	0.8
ATLAS COPCO	150	213.9075	359.775	0.7
DHL HANGARES	600	851.67	802.305	1.7
DHL SUPPLY	500	662.706	806.895	1.7
E&Y	900	738.36	1111.5	2.3
ERICSSON	750	793.62	918.405	1.9
GERDAU CORSA	250	526.509	609.12	1.3
GLOBAL CARD	800	1050.75	1095.075	2.2
GRUPO MODELO	600	498.96	554.355	1.2
GSK	700	1240.3125	1246.221	2.6
HIR Casa	120	195.75	205.2	0.5
McCann	250	405	393.75	0.8
NESTLÉ	400	586.8	775.575	1.6
PWC	1700	1025.64	1666.665	3.4
S. BOSQUES	150	274.68	304.92	0.7
S. BOTURINI	1500	2095.2	1891.755	3.8
S. PLAZA	800	1175.9625	1218.87	2.5
TRANE COMPANY	80	128.574	122.4	0.3
TUPPERWARE	135	214.965	208.575	0.5
UNILEVER BOSQUES	200	322.5015	307.638	0.7
UNILEVER TULTILÁN	1100	1493.1585	1724.445	3.5
Total general	11935	15228.369	17067.474	35.6

Tabla 4.4.4 Demanda en piezas que presentan los comedores

Fuente: Elaboración propia

4.1.6.2 Restricciones en los horarios de los puntos de suministro

El acceso a los sitios depende de la jornada laboral del comedor, la cual va de acuerdo a las funciones de la empresa a la que se le brinda el servicio, pero es el cliente quien define el horario en el cual los proveedores pueden entregar mercancía y también estipula los requisitos que deben cumplir para que puedan ingresar a las instalaciones. En el caso de las plantas, que por su

actividad tiene jornadas más extensas, el horario de recepción es mayor que el de un corporativo. También es importante agregar a la tabla el tiempo que se demoran los repartidores en el lugar, desde que ingresan, descargan y revisan la materia prima; hasta que salen del sitio rumbo a otro punto¹⁶.

COMEDOR	TIPO DE ESTABLECIMIENTO	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	TIEMPO
				PROMEDIO DE PERMANENCIA EN EL SITIO [MIN]
ACEROS CORSA	Planta	06:30-14:00	16:00-17:30	34
AT&T	Corporativo	06:30-10:00	N.A.	26
ATLAS COPCO	Corporativo	06:30-12:00	N.A.	43
DHL HANGARES	CEDIS	06:30-14:00	17:00-18:00	45
DHL SUPPLY	CEDIS	07:00-13:00	15:00-16:00	97
E&Y	Corporativo	07:00-16:00	N.A.	130
ERICSSON	Corporativo	05:00-15:00	N.A.	68
GERDAU CORSA	Planta	05:30-12:00	12:00-17:00	35
GLOBAL CARD	Corporativo	06:30-13:00	N.A.	50
GRUPO MODELO	Corporativo	06:30-16:00	N.A.	45
GSK	Corporativo/planta	06:00-13:00	N.A.	105
HIR Casa	Corporativo	07:00-12:00	N.A.	35
McCann	Corporativo	07:00-13:00	N.A.	42
NESTLÉ	Planta	07:00-15:30	N.A.	47
PWC	Corporativo	06:30-12:00	16:00-17:30	100
S. BOSQUES	Corporativo	07:00-14:00	N.A.	30
S. BOTURINI	Corporativo	06:30-13:00	N.A.	130
S. PLAZA	Corporativo	06:30-12:00	16:00-17:00	80
TRANE COMPANY	Corporativo	07:00-12:00	N.A.	25
TUPPERWARE	Corporativo	07:00-11:00	15:00-16:30	30
UNILEVER BOSQUES	Corporativo	06:30-12:00	N.A.	45
UNILEVER TULTILÁN	Planta	06:00-12:00	12:00-17:30	130

Tabla 4.4.5 Horarios de recepción
Fuente: elaboración propia

Algunos corporativos presentan dificultades al no tener estacionamiento para la descarga de los productos, o bien una puerta trasera por la que puedan ingresar. Tal es el caso de PWC, TRANE COMPANY, McCANN, GRUPO MODELO y TUPPERWARE, comedores en los que el camión debe

¹⁶ Este tiempo promedio de permanencia en el comedor se ha evaluado en repetidas ocasiones, gracias al GPS con el que cuentan las unidades de transporte. En el ANEXO I se presenta el archivo de donde se extrajo la información.

parquearse en zonas delimitadas por el cliente y deben cruzar el comedor para llegar al almacén y poder completar la descarga. En algunos casos como el de AT&T y McCANN deben pasar por la oficinas para llegar al comedor. Por eso es importante cumplir con las horas estipuladas, así mejora el servicio y no obstruyen la actividad del cliente potencial. Para el caso de Nestlé que es un comedor lejano, a los repartidores se les permite el uso de TAG para transitar por la autopista y no tener demoras.

4.1.6.3 Ubicación de los puntos destino

En la siguiente tabla se muestran las direcciones de cada punto y posteriormente la ubicación en GOOGLE MAPS, se empleó esta herramienta para obtener la matriz origen destino en tiempo y distancia, pero para tener una mayor visualización empleamos un SIG para ubicarlos y poder determinar la zonificación.

ACEROS CORSA	AT&T	ATLAS COPCO	DHL HANGARES	DHL SUPPLY
Av. La Presa 2, Zona industrial La Presa, 54187 Tlalnepantla, D.F., México	Calle Filiberto Gomez 38, Centro Industrial Tlalnepantla, 54030 Tlalnepantla, Méx	Blvrd Abraham Lincoln 13, Los Reyes, 54073 Tlalnepantla, Méx., México	Av. Fuerza Aérea Mexicana 540, Federal, 15700 D.F., México	Autopista México-Querétaro, San Isidro, Cuautitlán Izcalli, Méx., México
E&Y	ERICSSON	GERDAU CORSA	GLOBAL CARD	GRUPO MODELO
Av. Ejército Nacional No. 843-B, Miguel Hidalgo, Granada, 11520 Ciudad de México, D.F., México	Ericsson, Santa Barbara, 02230 Ciudad de México, D.F., México	Calle 3, Independencia, 54915 Buenavista, Méx., México	Río Usumacinta S/N Esq. Con Fernando, Montes de Oca, La Presita, 54763 Cuautitlán Izcalli, Méx., México	Javier Barros Sierra 555, Piso 4, Álvaro Obregón, Zedec Sta Fé, 01210 Ciudad de México, D.F., México
GSK	HIR CASA	McCANN	NESTLÉ	PWC
Avenida las Torres 4900, Huipulco, Tlalpan, 14370 Ciudad de México, D.F., México	Av. Coyoacan 1622, Del Valle, Benito Juárez, 03100 Ciudad de México, D.F., México	Calle Palo Santo #22, Miguel Hidalgo, Lomas Altas, 11950 Ciudad de México, D.F., México	Paseo Tollocan, Delegación Sta Ana Tlalpaltitlán, 50160 Toluca de Lerdo, Méx.	Mariano Escobedo No. 573, Miguel Hidalgo, 11580 Ciudad de México, D.F., México
S. BOSQUES	S. BOTURINI	S. PLAZA	TRANE COMPANY	TUPPERWARE
Bosques De Ciruelos No 120 PB, Bosques de las Lomas, 11700 D.F., México	Av. Lorenzo Boturini #202, Cuauhtémoc, Tránsito, 06820 Ciudad de México, D.F., México	Blvrd Manuel Ávila Camacho 1, Polanco, Miguel Hidalgo, 11560 Ciudad de México, D.F., México	Calle Félix Guzmán No. 21, El Parque, 53390 Naucalpan de Juárez, Méx., México	Paseo de los Laureles 458, Cuajimalpa de Morelos, Lomas de Vista Hermosa, 05120 Ciudad de México, D.F., México
UNILEVER B	UNILEVER TUL.			
Paseo de Los Tamarindos 150, Cuajimalpa de Morelos, Bosques de Las Lomas, 05120 Ciudad de México, D.F., México	Av. Tepalcapa 2, Col. Rancho Santo Domingo, 54900 Méx., México			

Tabla 4.4.6 Directorio
Fuente: Elaboración Propia

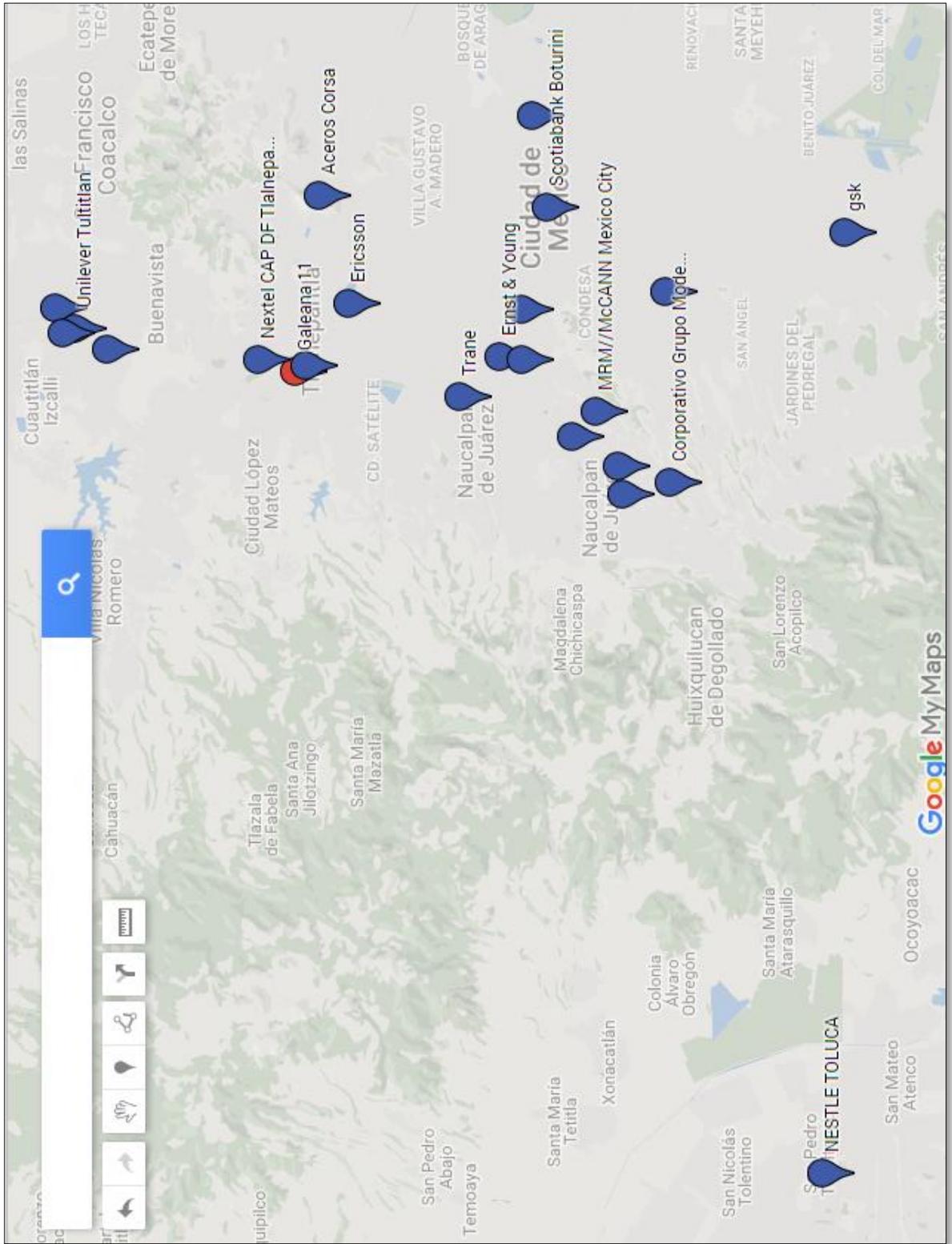


Ilustración 4.9 Imagen street comedores en Google Maps

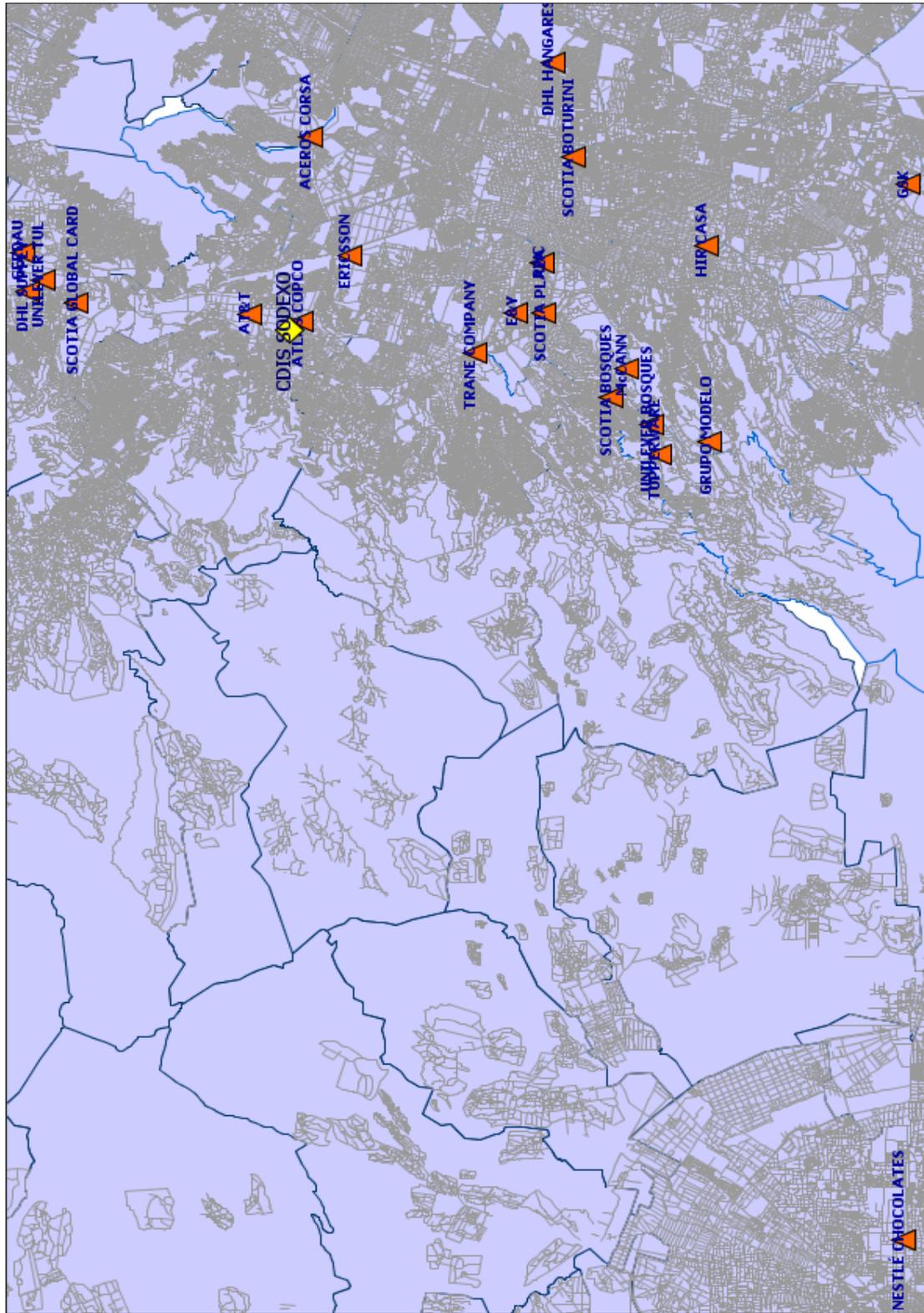


Ilustración 4.10 Ubicación de los comedores en gvSIG

5 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Para la solución del problema primero se realizará la zonificación, en este apartado se presentarán cuatro alternativas con cuatro zonas cada una. Para obtener el mejor recorrido de las zonas se procederá a realizar las rutas; posteriormente se evaluará si cumplen con las restricciones (tiempos y capacidad de los vehículos).

Para definir las rutas en el modelo de redes se va a emplear para todos los casos el método de Ramificación y acotamiento (Branch and Bound, descrito en el capítulo 2).

Al final se elegirá la alternativa que mejor cumplan con lo solicitado y en el análisis de resultados se presentará la zonificación más competente para nuestro problema asignando los vehículos a cada ruta diseñada.

5.1 Zonificación

A continuación se muestran las cuatro alternativas de zonificación, en todas se evaluarán las restricciones que se muestran en la Tabla 5.1.

La restricción de las horas correspondientes a la jornada laboral se toma en cuenta para tener una mejor evaluación de los costos, y la disponibilidad de las unidades se debe contemplar para el número de rutas que deben crearse.

RESTRICCIONES	
Capacidad de la caja	5443 [kg]
HORARIOS DE RECEPCIÓN EN COMEDORES	Datos descritos en el apartado 4.1.6.2

Tabla 5.1 Restricciones

Puntos a considerar	
Restricción de los vehículos para distribución de abarrotos (2 rutas por cada uno)	disponibles 2 días
JORNADA Tiempo disponible en [min]	6AM-15PM 540 [min] (9 horas)

Tabla 5.2 Puntos importantes a considerar

En cada alternativa se exhibirán las rutas de distribución. Para tener una mejor evaluación de la ruta y ver si cumple con las restricciones de tiempo, los datos que se deben ingresar en el programa son los de tiempo de distribución, que es la suma de los tiempos de traslado (estos datos fueron previamente calculados con ayuda de Google Maps¹⁷) y los tiempos promedio de permanencia que tiene cada comedor que también fueron previamente obtenidos.

Los registros que se tienen de cada sitio y características de los camiones que se requieren para evaluar la capacidad se presentaron en el capítulo anterior. En la tabla siguiente se presentan algunos datos de interés que nos ayudarán a calcular los costos en cada ruta generada.

DATOS DE INTERÉS	
Precio del diésel ¹⁸	\$ 17.05
Rendimiento	4.23 [km/l]
Pago de hora extra (chofer ayudante)	\$ 190
Autopista (VIAJES A NESTLÉ)	\$336

Tabla 5.3 Datos para el cálculo de costos

5.1.1 Alternativa 1

Esta alternativa se conforma de la Zona A, Zona B, Zona C y Zona D. El objetivo de esta alternativa es diseñar una zonificación por regiones; la región norte, sur, centro y Santa Fe. Evitando traslados largos entre un punto y otro.

¹⁷ Estos datos de tiempo-distancia y los tiempos de permanencia se exhiben en el Anexo II

¹⁸ El precio del diésel corresponde al aumento que se realizó el 1° de enero del 2017.

Zona A

En esta zona se incluyen los siguientes comedores: ATLAS COPCO, AT&T, ACEROS CORSA, GERDAU, UNILEVER TULTITLÁN, ERICSSON, GLOBAL CARD, DHL SUPPLY.

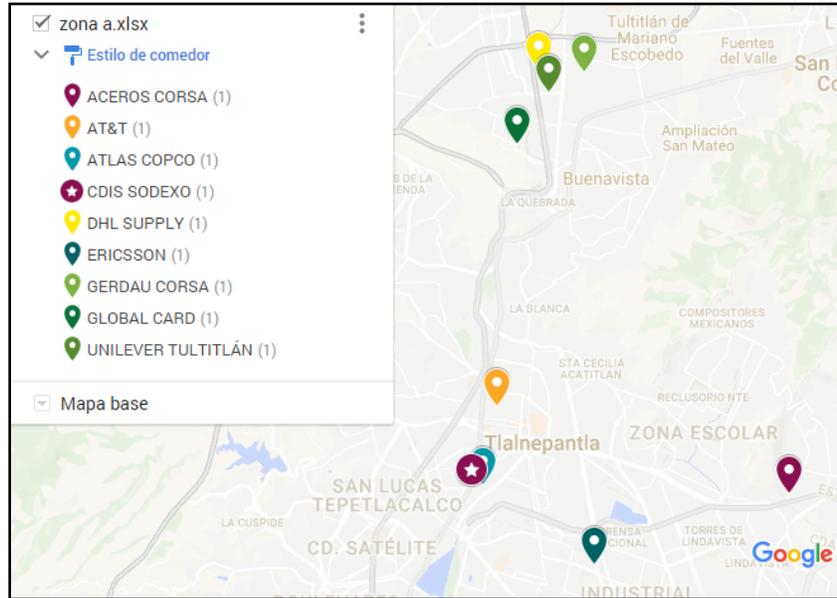


Ilustración 5.1 Ubicación de los comedores de la Zona A

man Problem)							
02-05-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	AT&T	34	6	UNILEVER	GLOBAL	59
2	AT&T	ATLAS	50	7	GLOBAL	DHL	104
3	ATLAS	ERICSSON	80	8	DHL	GERDAU	47
4	ERICSSON	ACEROS	58	9	GERDAU	CDIS	22
5	ACEROS	UNILEVER	154				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	608
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Ilustración 5.2 Orden de recorrido arrojado por WinQSB- Zona A

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO				Obtenido de Google Maps	COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas extras generadas & autopistas	COSTO TOTAL (traslado + horas ext.)
	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	RUTA (orden de recorridos)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:mir]	Hora de salida del sitio [hh:mir]	DISTANCIA [KM]			
CDIS (inicio)			1	00:30			06:00	06:30			2	
AT&T	319.5	0.8	2	00:34	06:30-10:00	N.A.	06:38	07:04	2.7	\$ 10.88		
ATLAS COPCO	359.775	0.7	3	00:50	06:30-12:00	N.A.	07:11	07:54	3.3	\$ 13.30		
ERICSSON	918.405	1.9	4	01:20	05:00-15:00	N.A.	08:06	09:14	5	\$ 20.15		
ACEROS CORSA	424.53	0.9	5	00:58	06:30-14:00	16:00-17:30	09:38	10:12	10	\$ 40.31		
UNILEVER TULTITLÁN	1724.445	3.5	6	02:34	06:00-12:00	12:00-17:30	10:36	12:46	19.6	\$ 79.00		
GLOBAL CARD	1095.075	2.2	7	00:59	06:30-13:00	N.A.	12:55	13:45	2.8	\$ 11.29		
DHL SUPPLY	806.895	1.7	8	01:44	07:00-13:00	15:00-16:00	13:52	15:29	3	\$ 12.09		
GERDAU CORSA	609.12	1.3	9	00:47	05:30-12:00	12:00-17:00	15:41	16:16	6.5	\$ 26.20		
CDIS (fin)			10	00:22			16:38		15.3	\$ 61.67		
Total general	6257.745	13		10:38					68.2	\$ 274.90	\$380.00	\$ 654.90
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD		RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL				RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES					

Tabla 5.4 Resultados del análisis de la Zona A

En esta tabla se muestran los resultados del análisis, en rojo se encuentran las restricciones que no se cumplen, como la capacidad de carga y la jornada laboral.

En las restricciones de horario que marcan los comedores, aunque en la mayoría cumplen, hay dos que no muestran una hora satisfactoria, por ejemplo en caso de GLOBAL CARD, a pesar de que el arribo es 5 min antes de lo estipulado también hay que contemplar el tiempo de la descarga; y en el caso de DHL SUPPLY que definitivamente no cumple con la ventana de tiempo. El costo para una ruta tan larga se ve incrementado por el pago de las dos horas extra que se generaron.

Algo más crítico en esta evaluación es que la capacidad de la unidad se sobrepasa, tal vez por volumen todo entre en el camión pero la carga excede el límite que marca la ficha técnica.

Zona B

Los comedores que integrarán la ruta de la Zona B son: TRANE COMPANY, SCOTIA PLAZA, E&Y y PWC.

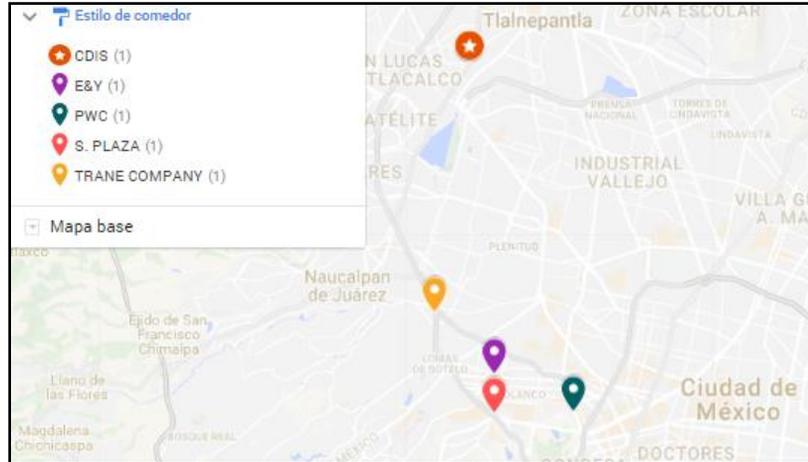


Ilustración 5.3 Ubicación de los comedores de la Zona B

From Node	Connect To	Distance/Cost	From Node	Connect To	Distance/Cost		
1	CDIS	TRANE	49	4	E&Y	PWC	110
2	TRANE	S. PLAZA	88	5	PWC	CDIS	20
3	S. PLAZA	E&Y	137				
Total		Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	404
		(Result from	Branch	and	Bound	Method)	

Ilustración 5.4 Orden de recorrido arrojado por WinQSB- Zona B

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO		Obtenido de Google Maps		COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas extras generadas	COSTO TOTAL (traslado + horas extra)	
	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]				DISTANCIA [KM]
CDIS (inicio)			1	00:30			06:00	06:30		0		
TRANE COMPANY	122.4	0.3	2	00:49	07:00-12:00	N.A.	06:54	07:19	9.9	\$ 39.90		
S. PLAZA	1218.87	2.5	3	01:28	06:30-12:00	16:00-17:00	07:27	08:47	6.2	\$ 24.99		
E&Y	1111.5	2.3	4	02:17	07:00-16:00	N.A.	08:54	11:04	4.1	\$ 16.53		
PWC	1666.665	3.4	5	01:50	06:30-12:00	16:00-17:30	11:14	12:54	2	\$ 8.06		
CDIS (fin)			6	00:22			13:16		15.1	\$ 60.86		
Total general	4119.435	8.5		07:16					37.3	\$ 150.35	\$ -	\$ 150.35
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD		RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL		RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES							

Tabla 5.5 Resultados del análisis de la Zona B

En esta ruta se cumplen todas las restricciones, la jornada no excede las nueve horas y no se generan horas extra, Por otra parte, la capacidad no se sobrepasa y el costo de traslado es bueno debido a la cercanía de los comedores.

Zona C

Comedores involucrados: SCOTIA BOTURINI, DHL HANGARES, HIR CASA y GSK.

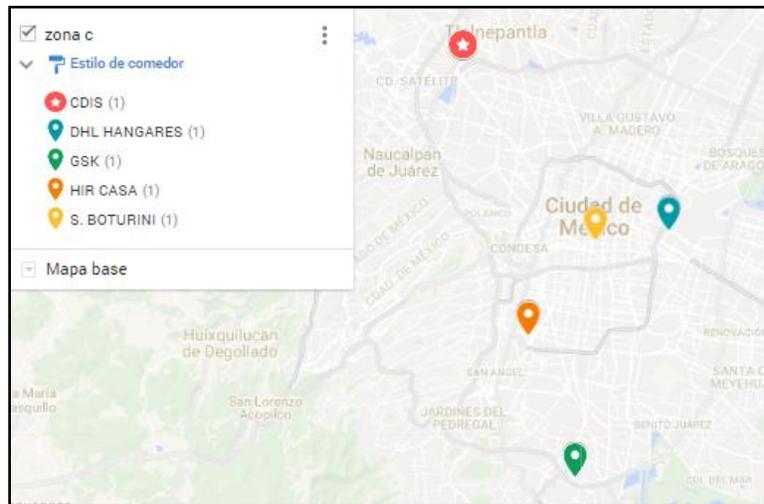


Ilustración 5.5 Ubicación de los comedores de la Zona C

Salesman Problem)							
02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	DHL	80	4	HIR CASA	S.	152
2	DHL	GSK	140	5	S.	CDIS	40
3	GSK	HIR CASA	70				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	482
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Ilustración 5.6 Orden de recorrido arrojado por WinQSB- Zona C

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO		Obtenido de Google Maps		COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas extras generac	COSTO TOTAL (traslado + horas ext)
	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]			
CDIS (inicio)			1	00:30			06:00	06:30			0
DHL HANGARES	802.305	1.7	2	01:20	06:30-14:00	17:00-18:00	07:05	07:50	25.3	\$ 101.98	
GSK	1246.221	2.6	3	02:20	06:00-13:00	N.A.	08:25	10:10	23.5	\$ 94.72	
HIR Casa	205.2	0.5	4	01:10	07:00-12:00	N.A.	10:45	11:20	13.2	\$ 53.21	
S. BOTURINI	1891.755	3.8	5	02:32	06:30-13:00	N.A.	12:42	13:52	12.2	\$ 49.17	
CDIS (fin)			6	00:40			14:32		20.5	\$ 82.63	
Total general	4145.481	8.6		08:32					94.7	\$ 381.71	\$ -
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD		RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL				RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES				

Tabla 5.6 Resultados del análisis de la Zona C

Las restricciones se cumplen favorablemente, y aunque el costo es elevado eso se justifica por la distancia que hay entre cada sitio.

Zona D

Estos son los comedores que entran en esta zona: SCOTIA BOSQUES, McCANN, GRUPO MODELO, UNILEVER BOSQUES, NESTLÉ y TUPPERWARE.

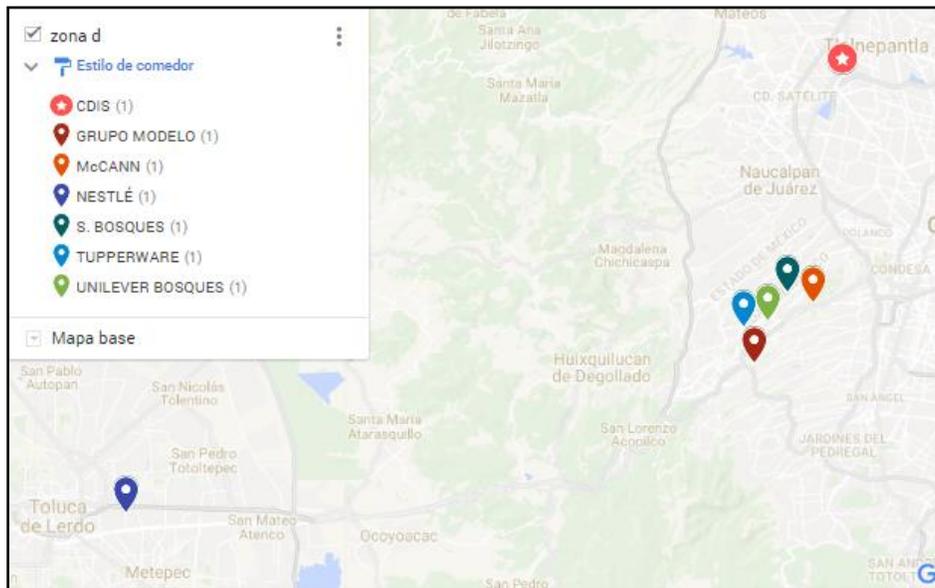


Ilustración 5.7 Ubicación de los comedores de la Zona D

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	S.BOSQUES	70	5	UNILEVER	GRUPO	55
2	S.BOSQUES	McCANN	56	6	GRUPO	NESTLÉ	82
3	McCANN	TUPPER	50	7	NESTLÉ	CDIS	60
4	TUPPER	UNILEVER	50				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	423
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Ilustración 5.8 Orden de recorrido arrojado por WinQSB- Zona D

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO		Obtenido de Google Maps		COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas extras generadas & autopistas	COSTO TOTAL (traslado + horas extra)	
	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]				DISTANCIA [KM]
CDIS (inicio)			1	00:30			06:00	06:30			0	
S. BOSQUES	304.92	0.7	2	01:10	07:00-14:00	N.A.	07:10	07:40	19.6	\$ 79.00		
McCann	393.75	0.8	3	00:56	07:00-13:00	N.A.	07:54	08:36	6	\$ 24.18		
TUPPERWARE	208.575	0.5	4	00:50	07:00-11:00	15:00-16:30	08:56	09:26	9.1	\$ 36.68		
UNILEVER BOSQUES	307.638	0.7	5	00:50	06:30-12:00	N.A.	09:31	10:16	3.1	\$ 12.50		
GRUPO MODELO	554.355	1.2	6	00:55	06:30-16:00	N.A.	10:26	11:11	3.3	\$ 13.30		
NESTLÉ	775.575	1.6	7	01:22	07:00-15:30	N.A.	11:46	12:33	44.5	\$ 179.37	\$336	
CDIS (fin)			8	01:00			13:33		68	\$ 274.09		
Total general	2544.813	5.5		07:33					153.6	\$ 619.12	\$ 336.00	\$ 955.12
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD		RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL				RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES					

Tabla 5.7 Resultados del análisis de la Zona D

La zona presenta una ruta muy viable que permite el arribo a los comedores en tiempo, con la capacidad de carga gracias a que son comedores pequeños muy cercanos entre sí.

En esta zona se incluye el comedor de Nestlé, por lo que se suma el costo por el pago de casetas, esto hace que el costo de distribución aumente considerablemente, pero gracia al uso de la autopista el recorrido se realiza en menor tiempo.

5.1.2 Alternativa 2

Comprende desde la Zona E hasta la Zona H. Aquí se trató de distribuir la demanda de los comedores, combinando sitios que atienden a pocos comensales y sitios que manejan un volumen mayor; pero cuidando la cercanía de los comedores para no sobrepasar los tiempos.

Zona E

Los comedores involucrados son: UNILEVER TULTITLÁN, GERDAU, ACEROS CORSA, DHL SUPPLY, AT&T, ATLAS COPCO y ERICSSON. Esta propuesta es similar a la Zona A, pero en este caso se pretende ajustar la carga para que no exceda la capacidad de las unidades de transporte.

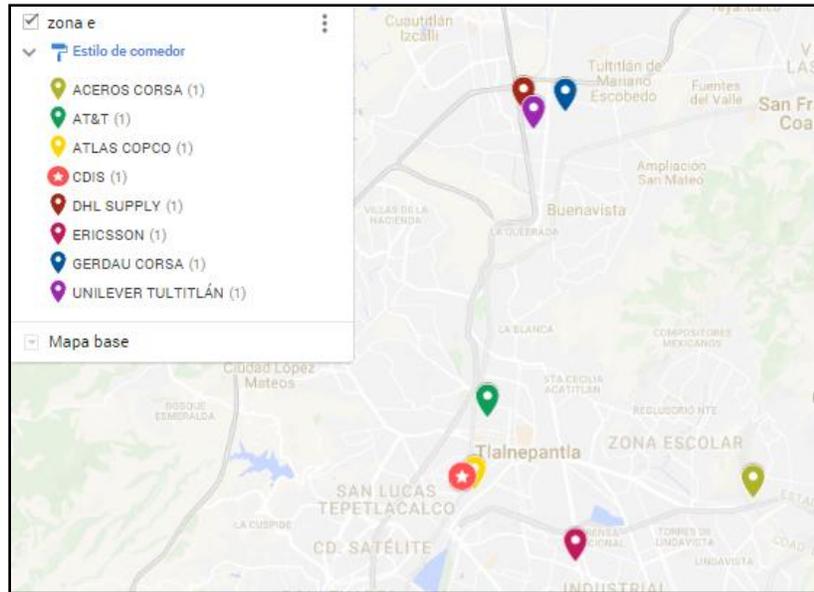


Ilustración 5.9 Ubicación de los comedores de la Zona E

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost	From Node	Connect To	Distance/Cost	
1	CDIS	AT&T	34	5	ACEROS	UNILEVER	154
2	AT&T	ATLAS	50	6	UNILEVER	DHL	99
3	ATLAS	ERICSSON	80	7	DHL	GERDAU	47
4	ERICSSON	ACEROS	58	8	GERDAU	CDIS	22
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	544
	[Result	from	Branch	and	Bound	Method]	

Ilustración 5.10 Orden de recorrido arrojado por WinQSB- Zona E

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO				Obtenido de Google Maps	COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas extras generadas & autopistas	COSTO TOTAL (traslado + horas ext.)
	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]	DISTANCIA [KM]			
CDIS (inicio)			1	00:30			06:00	06:30			1	
AT&T	319.5	0.8	2	00:34	06:30-10:00	N.A.	06:38	07:04	2.7	\$ 10.88		
ATLAS COPCO	359.775	0.7	3	00:50	06:30-12:00	N.A.	07:11	07:54	3.3	\$ 13.30		
ERICSSON	918.405	1.9	4	01:20	05:00-15:00	N.A.	08:06	09:14	5	\$ 20.15		
ACEROS CORSA	424.53	0.9	5	00:58	06:30-14:00	16:00-17:30	09:38	10:12	10	\$ 40.31		
UNILEVER TULTITLÁN	1724.445	3.5	6	02:34	06:00-12:00	12:00-17:30	10:36	12:46	19.6	\$ 79.00		
DHL SUPPLY	806.895	1.7	7	01:39	07:00-13:00	15:00-16:00	12:48	14:25	0.85	\$ 3.43		
GERDAU CORSA	609.12	1.3	8	00:47	05:30-12:00	12:00-17:00	14:37	15:12	6.5	\$ 26.20		
CDIS (fin)			9	00:22			15:34		15.3	\$ 61.67		
Total general	5162.67	10.8		09:34					63.25	\$ 254.94	\$ 190.00	\$ 444.94
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD		RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL				RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES					

Tabla 5.8 Resultados del análisis de la Zona E

Aunque la carga está cerca del límite ésta no sobrepasa la capacidad, aquí el problema es que la hora de llegada a DHL SUPPLY está próxima a lo permisible y aunque de la jornada se excede por 34 minutos se paga una hora extra a los trabajadores.

Zona F

Evaluaremos la ruta con los siguientes comedores: GLOBAL CARD, TRANE COMPANY, SCOTIA PLAZA, SCTIA BOSQUES, UNILEVER BOSQUES, McCANN y NESTLÉ.

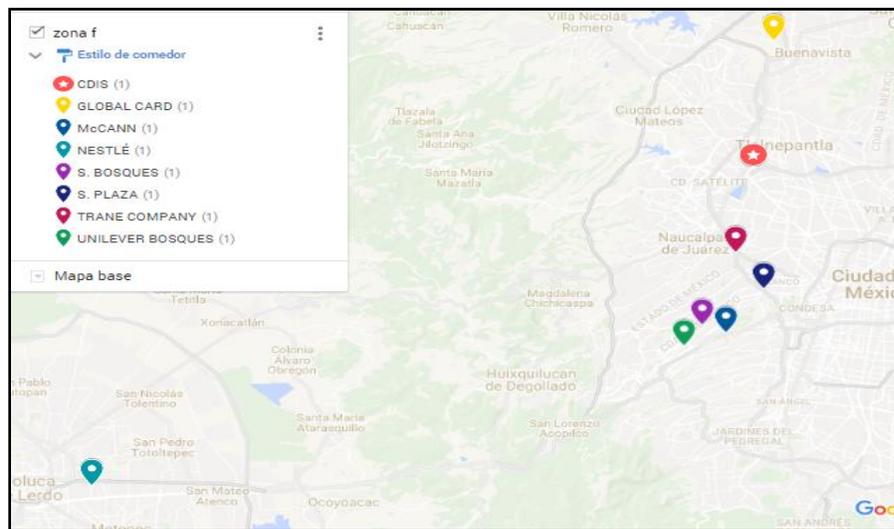


Ilustración 5.11 Ubicación de los comedores de la Zona F

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	TRANE	49	5	UNILEVER	S.BOSQUES	37
2	TRANE	S.PLAZA	88	6	S.BOSQUES	NESTLÉ	87
3	S.PLAZA	MCCANN	58	7	NESTLÉ	GLOBAL	110
4	MCCANN	UNILEVER	52	8	GLOBAL	CDIS	18
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	499
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Ilustración 5.12 Orden de recorrido arrojado por WinQSB- Zona F

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO		Obtenido de Google Maps		COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas extras generadas & autopistas	COSTO TOTAL (traslado + horas extra)	
	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]				DISTANCIA [KM]
CDIS (inicio)			1	00:30			06:00	06:30		0		
TRANE COMPANYY	122.4	0.3	2	00:49	07:00-12:00	N.A.	06:54	07:19	9.9	\$ 39.90		
S. PLAZA	1218.87	2.5	3	01:28	06:30-12:00	16:00-17:00	07:27	08:47	6.2	\$ 24.99		
McCann	393.75	0.8	4	00:58	07:00-13:00	N.A.	09:03	09:45	7.1	\$ 28.62		
UNILEVER BOSQUES	307.638	0.7	5	00:52	06:30-12:00	N.A.	09:52	10:37	3.7	\$ 14.91		
S. BOSQUES	304.92	0.7	6	00:37	07:00-14:00	N.A.	10:44	11:14	3.2	\$ 12.90		
NESTLÉ	775.575	1.6	7	01:27	07:00-15:30	N.A.	11:54	12:41	51	\$ 205.57	\$336	
GLOBAL CARD	1095.075	2.2	8	01:50	06:30-13:00	N.A.	13:41	14:31	80	\$ 322.46		
CDIS (fin)			9	00:18			14:49		24.8	\$ 99.96		
Total general	4218.228	8.8		08:49					185.9	\$ 749.31	\$ 336.00	\$ 1,085.31
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD		RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL				RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES					

Tabla 5.9 Resultados del análisis de la Zona F

Como se observa en la tabla anterior se cumple con dos de las restricciones, pero es crítico que no se alcanzara a entregar el comedor de GLOBAL CARD.

Zona G

A continuación se analizará la ruta conformada por: PWC, E&Y, GSK y HIR CASA.

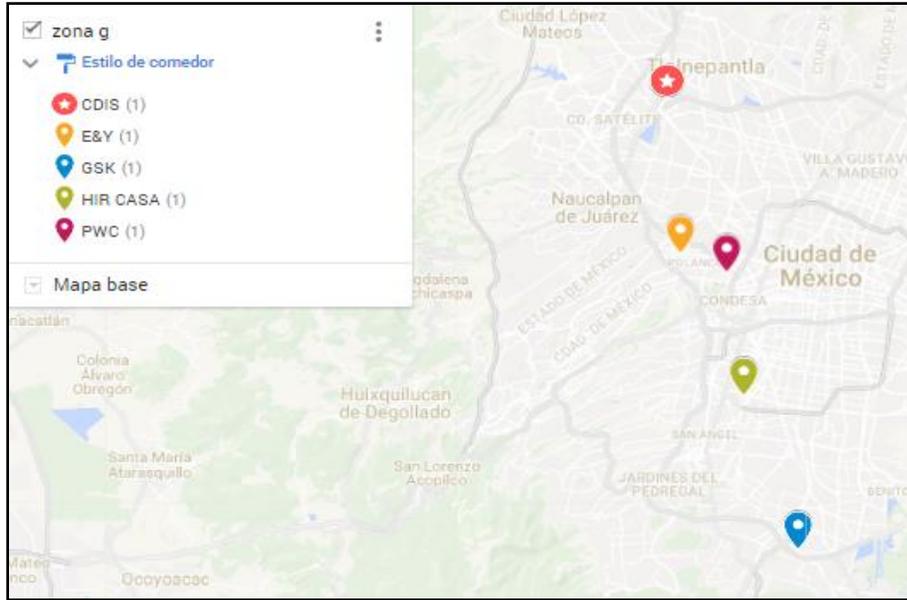


Ilustración 5.13 Ubicación de los comedores de la Zona G

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	PWC	130	4	HIR CASA	E&Y	137
2	PWC	GSK	133	5	E&Y	CDIS	18
3	GSK	HIR CASA	70				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	488
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Ilustración 5.14 Orden de recorrido arrojado por WinQSB- Zona G

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO				Obtenido de Google Maps	COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas generadas & autopistas	COSTO TOTAL (traslado + horas ext.)
	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]	DISTANCIA [KM]			
CDIS (inicio)			1	00:30			06:00	06:30			0	
PWC	1666.665	3.4	2	02:10	06:30-12:00	16:00-17:30	07:00	08:40	13.4	\$ 54.01		
GSK	1246.221	2.6	3	02:13	06:00-13:00	N.A.	09:08	10:53	27.1	\$ 109.23		
HIR Casa	205.2	0.5	4	01:10	07:00-12:00	N.A.	11:28	12:03	13.2	\$ 53.21		
E&Y	1111.5	2.3	5	02:17	07:00-16:00	N.A.	12:10	14:20	11.1	\$ 44.74		
CDIS (fin)			6	00:22			14:42		14.4	\$ 58.04		
Total general	4229.586	8.8		08:42					79.2	\$ 319.23	\$ -	\$ 319.23
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD		RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL				RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES					

Tabla 5.10 Resultados del análisis de la Zona G

Las restricciones se cumplen y la ruta se realiza respetando los horarios de recepción

Zona H

Los comedores involucrados en esta zona son: DH HANGARES, SCOTIA BOTURINI, GRUPO MODELO y TUPPERWARE.

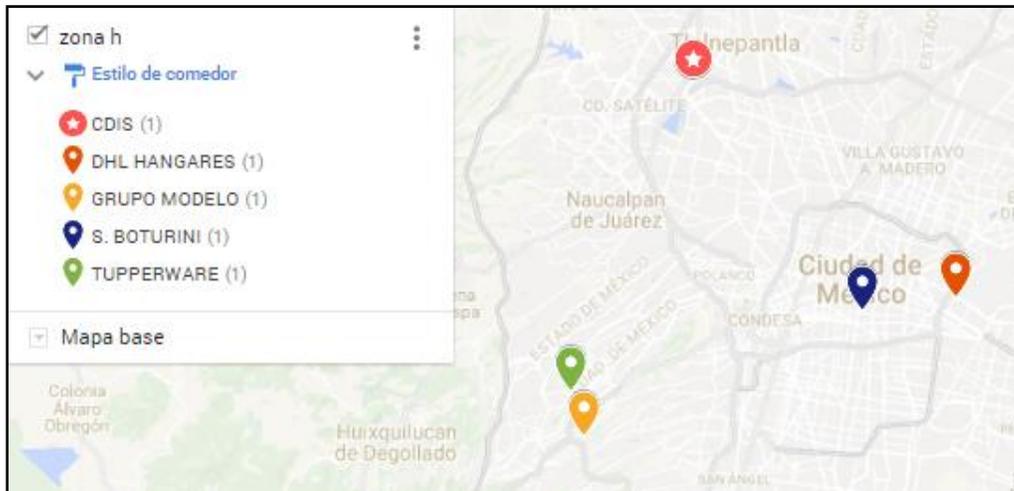


Ilustración 5.15 Ubicación de los comedores de la Zona H

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	GRUPO	95	4	S.BOTURINI	DHL	57
2	GRUPO	UPPERWAR	56	5	DHL	CDIS	35
3	UPPERWAR	S.BOTURINI	170				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	413
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Ilustración 5.16 Orden de recorrido arrojado por WinQSB- Zona H

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO		Obtenido de Google Maps		Costo por Horas extras		COSTO TOTAL (traslado + horas ext)
	EN PESO [kg]	Volumen [m ³]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]	DISTANCIA [KM]	COSTO DE TRASLADO	
CDIS (inicio)			1	00:30			06:00	06:30			0
GRUPO MODELO	554.355	1.2	2	01:35	06:30-16:00	N.A.	07:20	08:05	25.4	\$ 102.38	
TUPPERWAR E	208.575	0.5	3	00:56	07:00-11:00	15:00-16:30	08:31	09:01	9.8	\$ 39.50	
S. BOTURINI	1891.755	3.8	4	02:50	06:30-13:00	N.A.	10:41	11:51	19.2	\$ 77.39	
DHL HANGARES	802.305	1.7	5	00:57	06:30-14:00	17:00-18:00	12:03	12:48	9.1	\$ 36.68	
CDIS (fin)			6	00:35			13:23		24.8	\$ 99.96	
Total general	3456.99	7.2		07:23					88.3	\$ 355.91	\$ - \$ 355.91
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD		RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL				RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES				

Tabla 5.11 Resultados del análisis de la Zona H

A pesar de que son comedores que no están muy cercanos entre sí, los resultados fueron favorables. Se realizó esta propuesta tomando en cuenta que el horario de recepción es extenso y la mayoría de ellos y que se combinan comedores de pequeña, mediana y gran demanda.

5.1.3 Alternativa 3

Las zonas que abarcan esta alternativa van desde la I hasta la Zona L. En esta propuesta se buscó tener una combinación más variada de los comedores, tanto por ubicación como por demanda, los resultados se detallan a continuación.

Zona I

Se realizará la ruta con los siguientes comedores: DHL SUPPLY, UNILEVER TULTITLÁN, ACEROS CORSA, GERDAU, GLOBAL CARD, AT&T, ATLAS COPCO.

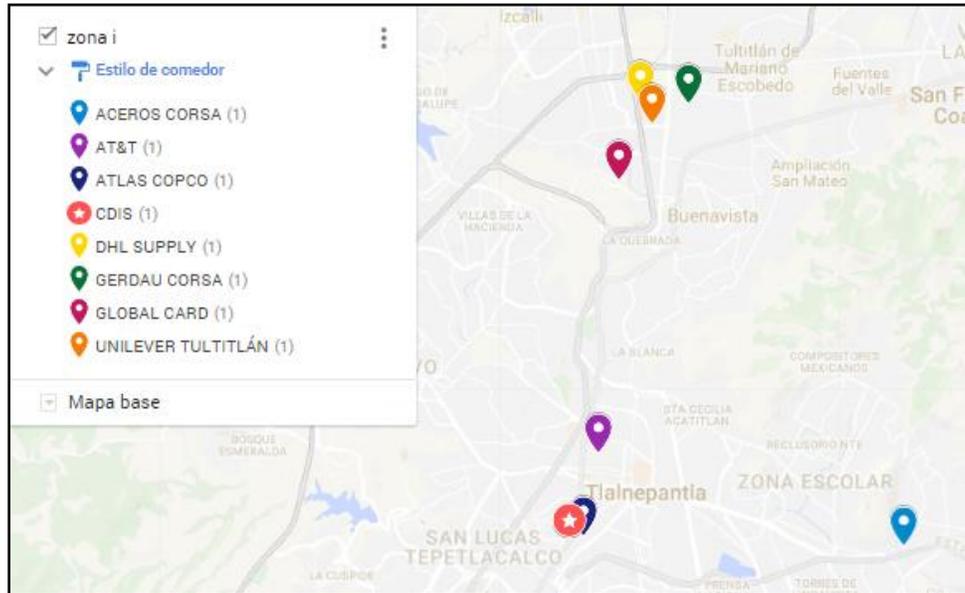


Ilustración 5.17 Ubicación de los comedores de la Zona I

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	AT&T	34	5	UNILEVER	GLOBAL	59
2	AT&T	ATLAS	50	6	GLOBAL	DHL	104
3	ATLAS	ACEROS	50	7	DHL	GERDAU	47
4	ACEROS	UNILEVER	154	8	GERDAU	CDIS	22
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	520
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Ilustración 5.18 Orden de recorrido arrojado por WinQSB- Zona I

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO				Obtenido de Google Maps	COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas extras generadas & autopistas	COSTO TOTAL (traslado + horas extra)
	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]	DISTANCIA [KM]			
CDIS (inicio)			1	00:30			06:00	06:30			1	
AT&T	319.5	0.8	2	00:34	06:30-10:00	N.A.	06:38	07:04	2.7	\$ 10.88		
ATLAS COPCO	359.775	0.7	3	00:50	06:30-12:00	N.A.	07:11	07:54	3.3	\$ 13.30		
ACEROS CORSA	424.53	0.9	4	00:50	06:30-14:00	16:00-17:30	08:10	08:44	9.9	\$ 39.90		
UNILEVER TULTITLÁN	1724.445	3.5	5	02:34	06:00-12:00	12:00-17:30	09:08	11:18	19.6	\$ 79.00		
GLOBAL CARD	1095.075	2.2	6	00:59	06:30-13:00	N.A.	11:27	12:17	2.8	\$ 11.29		
DHL SUPPLY	806.895	1.7	7	01:44	07:00-13:00	15:00-16:00	12:24	14:01	3	\$ 12.09		
GERDAU CORSA	609.12	1.3	8	00:47	05:30-12:00	12:00-17:00	14:13	14:48	6.5	\$ 26.20		
CDIS (fin)			9	00:22			15:10		15.3	\$ 61.67		
Total general	5339.34	11.1		09:10					63.1	\$ 254.34	\$ 190.00	\$ 444.34
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD		RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL				RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES					

Ilustración 5.19 Resultados del análisis de la Zona I

De acuerdo a la ruta que arroja WinQSB basada en el tiempo, en DHL SUPPLY por fin se llega en lo establecido, aunque las horas de la jornada laboral se pasan por 10 minutos esta es la mejor ruta de la zona del norte. La capacidad se cumple aunque muy próxima a pasar el límite, pero recordemos que estos datos se tomaron de lo que debería estar surtiendo el CDIS, por lo tanto si el nivel de servicio es de 100% esta sería la capacidad real a enviar con una holgura para incrementar de 103.66 [kg].

Zona J

Se realizará la ruta con los siguientes comedores: ERICSSON, TRANE COMPANY, SCOTIA PLAZA, SCOTIA BOSQUES, McCANN, UNILEVER BOSQUES y TUPPERWARE.

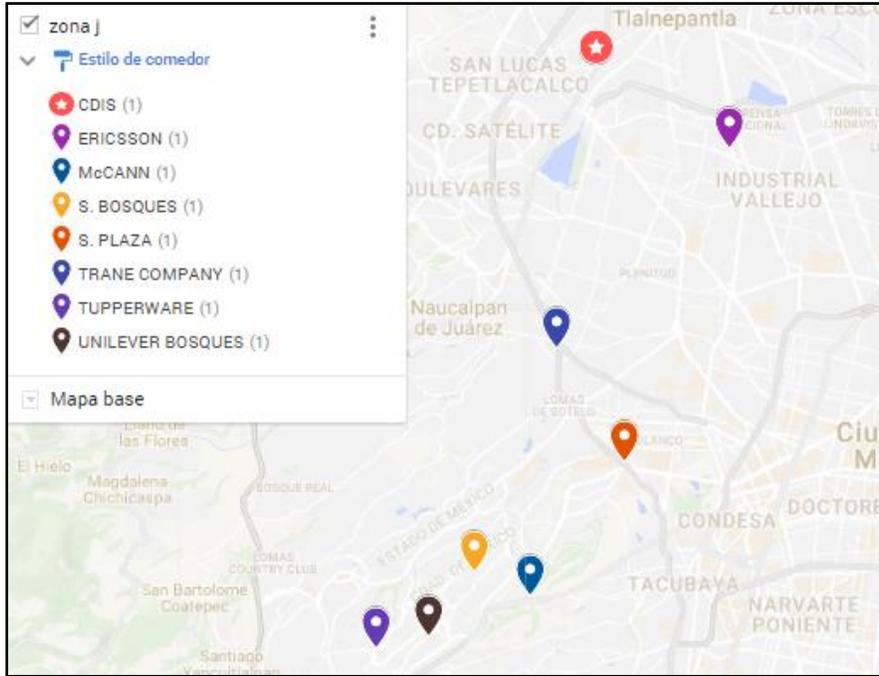


Ilustración 5.20 Ubicación de los comedores de la Zona J

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	ERICSSON	84	5	MCCANN	UNILEVER	52
2	ERICSSON	TANE	55	6	UNILEVER	TUPPER	48
3	TANE	S.PLAZA	88	7	TUPPER	S.BOSQUES	38
4	S.PLAZA	MCCANN	58	8	S.BOSQUES	CDIS	30
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	453
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Ilustración 5.21 Orden de recorrido arrojado por WinQSB- Zona J

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO				Obtenido de Google Maps	COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas extras generadas & autopistas	COSTO TOTAL (traslado + horas extra)
	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]	DISTANCIA [KM]			
CDIS (inicio)			1	00:30			06:00	06:30			0	
ERICSSON	918.405	1.9	2	01:24	05:00-15:00	N.A.	06:46	07:54	6.1	\$ 24.59		
TRANE COMPANY	122.4	0.3	3	00:55	07:00-12:00	N.A.	08:24	08:49	11.4	\$ 45.95		
S. PLAZA	1218.87	2.5	4	01:28	06:30-12:00	16:00-17:00	08:57	10:17	6.2	\$ 24.99		
McCann	393.75	0.8	5	00:58	07:00-13:00	N.A.	10:33	11:15	7.1	\$ 28.62		
UNILEVER BOSQUES	307.638	0.7	6	00:52	06:30-12:00	N.A.	11:22	12:07	3.7	\$ 14.91		
TUPPERWARE	208.575	0.5	7	00:48	07:00-11:00	15:00-16:30	12:25	12:55	6.3	\$ 25.39		
S. BOSQUES	304.92	0.7	8	00:38	07:00-14:00	N.A.	13:03	13:33	3.9	\$ 15.72		
CDIS (fin)			9	00:30			14:03		21.1	\$ 85.05		
Total general	3474.558	7.4		08:03					65.8	\$ 265.22	\$ -	\$ 265.22
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD		RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL				RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES					

Tabla 5.12 Resultados del análisis de la Zona J

El recorrido no cumple con todas las restricciones, ya que en un comedor no se llega a tiempo, y aunque maneja horario vespertino son más de dos horas de espera, lo que generaría incumplir en las horas de la jornada laboral.

Zona K

Se realizará la ruta con los siguientes comedores: SCOTIA BOTURINI, PWC, E&Y y DHL HANGARES

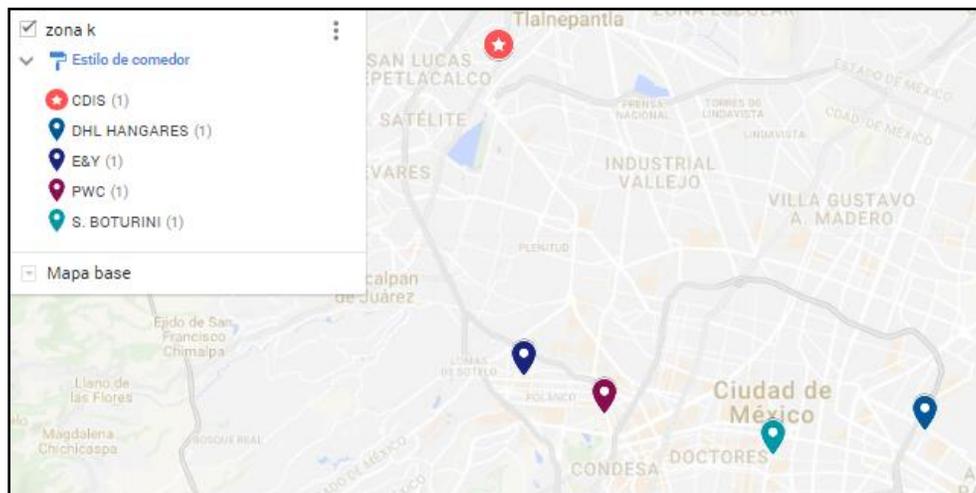


Ilustración 5.22 Ubicación de los comedores de la Zona K

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	PWC	130	4	S.BOTURINI	DHL	57
2	PWC	E&Y	139	5	DHL	CDIS	35
3	E&Y	S.BOTURINI	156				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	517
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method]	

Ilustración 5.23 Orden de recorrido arrojado por WinQSB- Zona K

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO				Obtenido de Google Maps	COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas extras generada s & autopistas	COSTO TOTAL (traslado + horas extra
	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]	DISTANCIA [KM]			
CDIS (inicio)			1	00:30			06:00	06:30			1	
PWC	1666.665	3.4	2	02:10	06:30-12:00	16:00-17:30	07:00	08:40	13.4	\$ 54.01		
E&Y	1111.5	2.3	3	02:19	07:00-16:00	N.A.	08:49	10:59	3.2	\$ 12.90		
S. BOTURINI	1891.755	3.8	4	02:36	06:30-13:00	N.A.	12:25	13:35	14.1	\$ 56.83		
DHL HANGARES	802.305	1.7	5	00:57	06:30-14:00	17:00-18:00	13:47	14:32	9.1	\$ 36.68		
CDIS (fin)			6	00:35			15:07		24.8	\$ 99.96		
Total general	5472.225	11.2		09:07					64.6	\$ 260.39	\$ 190.00	\$ 450.39
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD		RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL				RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES					

Tabla 5.13 Resultados del análisis de la Zona K

Esta ruta se propuso por la cercanía de los comedores, pero incumple en dos de tres restricciones.

Zona L

Se realizará la ruta con los siguientes comedores: HIR CASA, GSK, GRUPO MODELO y NESTLÉ.

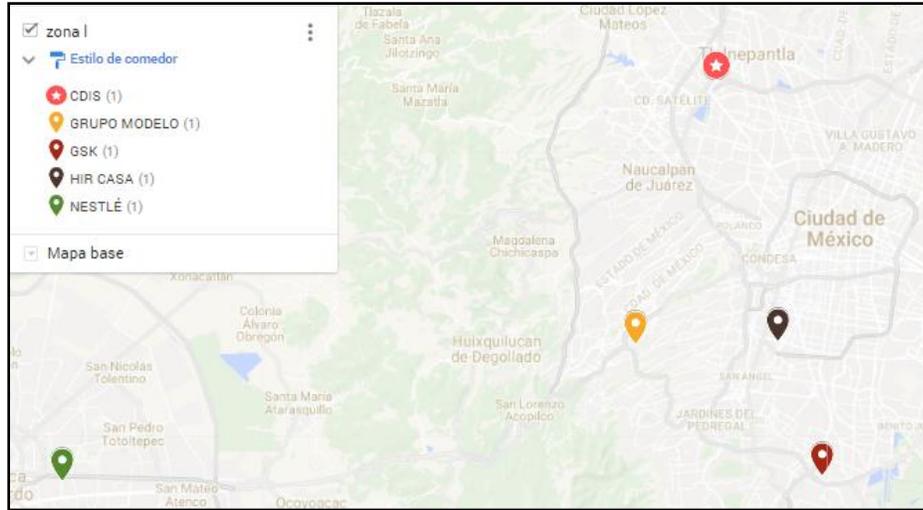


Ilustración 5.24 Ubicación de los comedores de la Zona L

Salesman Problem)							
02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	GRUPO	95	4	GSK	HIR CASA	70
2	GRUPO	NESTLÉ	82	5	HIR CASA	CDIS	35
3	NESTLÉ	GSK	160				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	442
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Ilustración 5.25 Orden de recorrido arrojado por WinQSB- Zona L

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO				Obtenido de Google Maps	COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas extras generadas & autopistas	COSTO TOTAL (traslado + horas extra)
	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:mir]	Hora de salida del sitio [hh:min]	DISTANCIA [KM]			
CDIS (inicio)			1	00:30			06:00	06:30			0	
GRUPO MODELO	554.355	1.2	2	01:35	06:30-16:00	N.A.	07:20	08:05	25.4	\$ 102.38		
NESTLÉ	775.575	1.6	3	01:22	07:00-15:30	N.A.	08:40	09:27	44.5	\$ 179.37	\$336	
GSK	1246.221	2.6	4	02:40	06:00-13:00	N.A.	10:22	12:07	64.9	\$ 261.59		
HIR Casa	205.2	0.5	5	01:10	07:00-12:00	N.A.	12:42	13:17	13.2	\$ 53.21		
CDIS (fin)			6	00:35			13:52		24.3	\$ 97.95		
Total general	2781.351	5.9		07:52					172.3	\$ 694.50	\$ 336.00	\$ 1,030.50
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD		RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL				RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES					

Tabla 5.14 Resultados del análisis de la Zona L

A pesar de que se respeta la capacidad y la jornada laboral, el resultado incumple con el horario de entrega en HIR CASA, desafortunadamente no hay manera de realizar la entrega en horario vespertino, aunado a eso el recorrido es extenso generando un costo elevado.

5.1.4 Alternativa 4

Esta alternativa busca mejorar los resultados de la primera, tratando de corregir la Zona A, la cual se vio afectada por la capacidad. Se busca seguir el enfoque de crear la zonificación por regiones, así que esta alternativa se compone de la Zona C, Zona D, Zona I y una nueva propuesta que es la Zona M.

Zona M

La nueva propuesta será la zona 2.4 y se compone de los siguientes comedores: PWC, E&Y, ERICSSON, TRANE COMPANY, SCOTIA PLAZA.

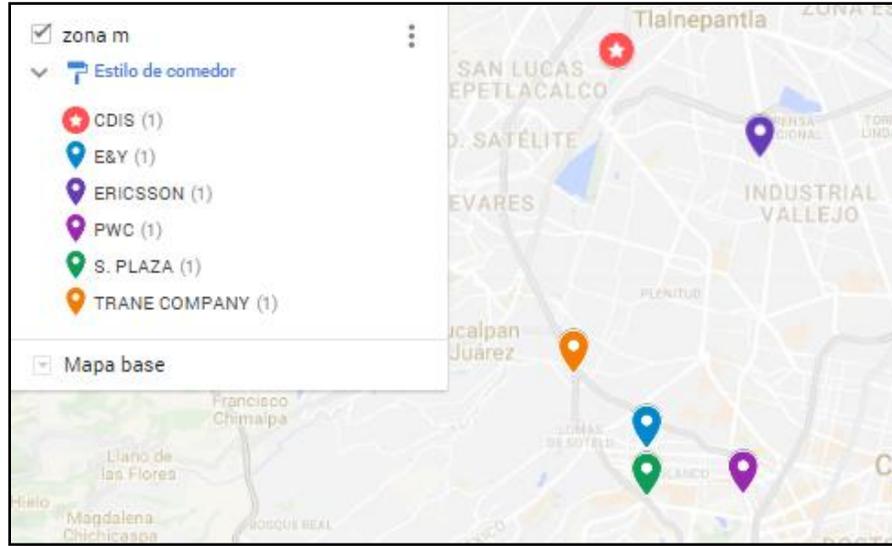


Ilustración 5.26 Ubicación de los comedores de la Zona M

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost	From Node	Connect To	Distance/Cost	
1	CDIS	ERICSSON	84	4	TRANE	PLAZA	88
2	ERICSSON	PwC	128	5	PLAZA	E&Y	137
3	PWC	TRANE	37	6	E&Y	CDIS	18
Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	492	
(Result	from	Branch	and	Bound	Method)		

Ilustración 5.27 Orden de recorrido arrojado por WinQSB- Zona M

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO		Obtenido de Google Maps		COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas extras generadas & autopistas	COSTO TOTAL (traslado + horas extra)	
	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]				DISTANCIA [KM]
CDIS (inicio)			1	00:30			06:00	06:30		0		
ERICSSON	918.405	1.9	2	01:24	05:00-15:00	N.A.	06:46	07:54	6.1	\$ 24.59		
PWC	1666.665	3.4	3	02:08	06:30-12:00	16:00-17:30	08:22	10:02	9.2	\$ 37.08		
TRANE COMPANY	122.4	0.3	4	00:37	07:00-12:00	N.A.	10:14	10:39	6.5	\$ 26.20		
S. PLAZA	1218.87	2.5	5	01:28	06:30-12:00	16:00-17:00	10:47	12:07	6.2	\$ 24.99		
E&Y	1111.5	2.3	6	02:17	07:00-16:00	N.A.	12:14	14:24	2	\$ 8.06		
CDIS (fin)			7	00:18			14:42		14.4	\$ 58.04		
Total general	5037.84	10.4		08:42					44.4	\$ 178.96	\$ -	\$ 178.96
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD		RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL				RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES					

Tabla 5.15 Resultados del análisis de la Zona M

En esta zona se tomó en consideración la cercanía, combinar comedores de pequeña, mediana y gran demanda y el resultado fue favorable.

5.2 Análisis de resultados

Después de haber realizado la evaluación de varias alternativas podemos definir la zonificación de nuestro mapa y establecer las rutas para la distribución de los abarrotes.

A continuación se presenta una tabla comparativa de las alternativas presentadas en donde se visualiza el porqué de nuestra elección.

CUMPLE	NO CUMPLE
•	/

ALTERNATIVA	ZONA	CAPACIDAD DE CARGA	HORARIO DE RECEPCIÓN	TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL	DISTANCIA RECORRIDA [km]	COSTO DE DISTRIBUCIÓN	COSTO TOTAL
1	A	•	/	/	68.2	\$ 654.90	\$ 2,142.07
	B	•	•	•	37.3	\$ 150.35	
	C	•	•	•	94.7	\$ 381.71	
	D	•	•	•	153.6	\$ 955.12	
2	E	•	•	/	63.25	\$ 444.94	\$ 2,205.40
	F	•	/	•	185.9	\$ 1,085.31	
	G	•	•	•	79.2	\$ 319.23	
	H	•	•	•	88.3	\$ 355.91	
3	I	•	•	/	63.1	\$ 444.34	\$ 2,190.45
	J	•	/	•	65.8	\$ 265.22	
	K	/	•	/	64.6	\$ 450.39	
	L	•	/	•	172.1	\$ 1,030.50	
4	C	•	•	•	94.7	\$ 381.71	\$ 1,960.13
	D	•	•	•	153.6	\$ 955.12	
	I	•	•	/	63.1	\$ 444.34	
	M	•	•	•	44.4	\$ 178.96	

Tabla 5.16 Comparación de resultados

Después de presentar la tabla, la alternativa que se elige es la 4 por cumplir con las restricciones establecidas, además, se sabe que el costo solo se iba a evaluar, pero a la hora de elegir resultó ser un factor determinante.

En la siguiente imagen podemos apreciar cómo quedó la zonificación de nuestra región.

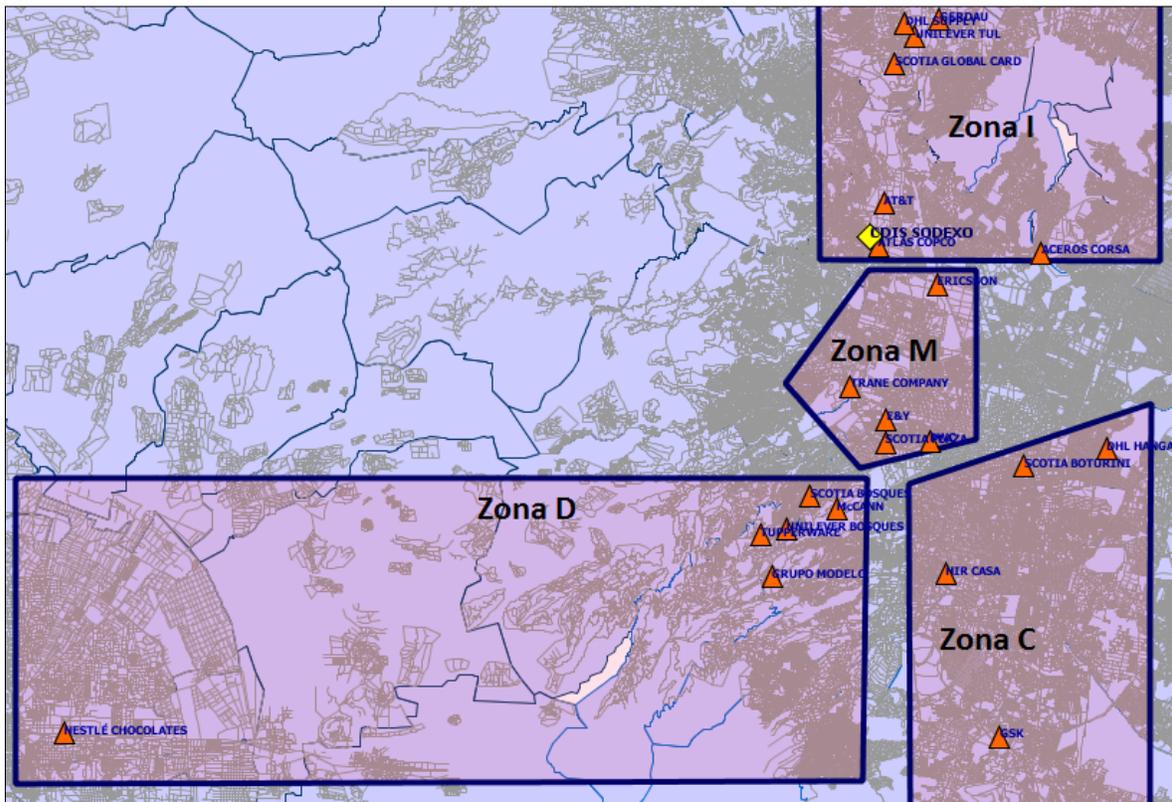


Ilustración 5.28 Zonificación del Diseño de Rutas para la Distribución de Abarrotes a Comedores Industriales

5.2.1 Presentación de rutas

Para poder presentar las rutas, antes se va a definir una ruta para cada zona, tal como se presenta en la Ilustración 5.29

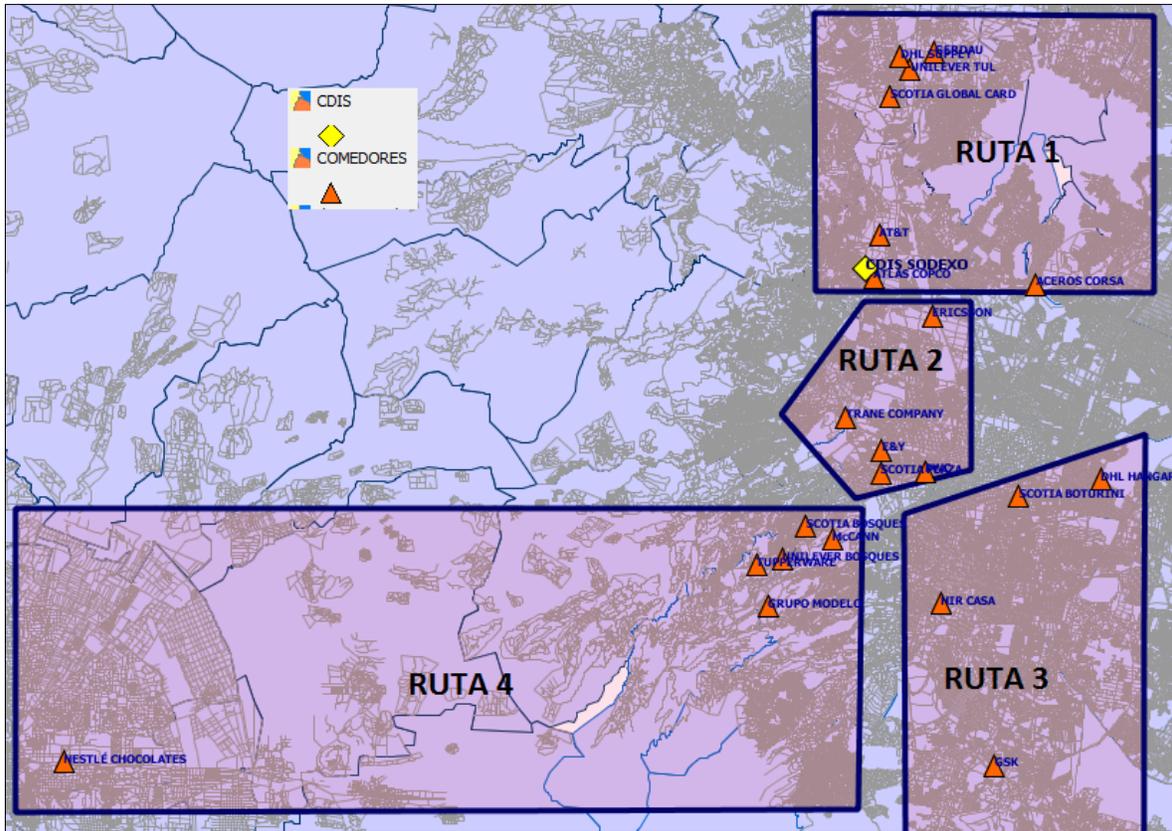


Ilustración 5.29 Designación de rutas

El motivo por el que se definieron cuatro rutas es la disposición de las unidades de transporte para ejecutar el reparto de abarrotes, además con cuatro rutas se garantiza la entrega de todos los puntos en tiempo y forma.

Se van a presentar las características de cada ruta, qué comedores las integran y cómo se ejecutará el recorrido, tomando el resultado arrojado por WinQSB.

5.2.1.1 Ruta 1 Norte

Esta ruta está conformada por 7 comedores de la zona norte del Valle de México. Con anterioridad se presentó el análisis para estos sitios (Zona I), se validó que cumplieran con las restricciones y que no se sobrepasara la jornada laboral, aunque lo hace por 10 minutos según lo evaluado.

RUTA	Orden de recorrido	COMEDOR	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]
1	A	CDIS (inicio)	06:00	06:30
	B	AT&T	06:38	07:04
	C	ATLAS COPCO	07:11	07:54
	D	ACEROS CORSA	08:10	08:44
	E	UNILEVER TULTITLÁN	09:08	11:18
	F	GLOBAL CARD	11:27	12:17
	G	DHL SUPPLY	12:24	14:01
	H	GERDAU CORSA	14:13	14:48
	I	CDIS (fin)	15:07	-

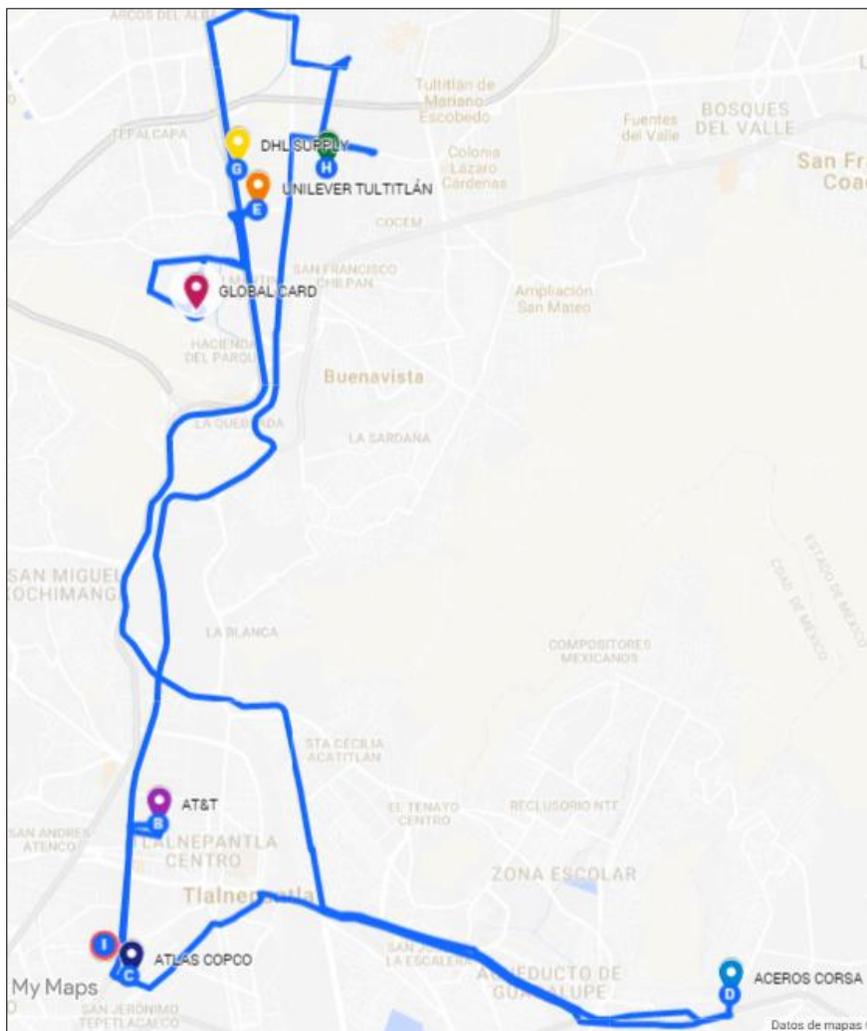


Ilustración 5.30 Recorrido de la Ruta 1 Norte

El recorrido en la parte superior parece estar algo enredado, pero el programa analizó contemplando el tiempo de descarga en los sitios con la finalidad de tener a consideración tiempos más reales.

5.2.1.2 Ruta 2 Centro

La Ruta 2 concentra a los comedores de la zona centro de la ciudad, son cinco comedores los que se incluyen por la cercanía y porque la demanda que presentan permite que no se rebase la capacidad.

RUTA	Orden de recorrido	COMEDOR	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]
2	A	CDIS (inicio)	06:00	06:30
	B	ERICSSON	06:46	07:54
	C	PWC	08:22	10:02
	D	TRANE COMPANY	10:14	10:39
	E	S. PLAZA	10:47	12:07
	F	E&Y	12:14	14:24
	G	CDIS (fin)	14:42	-

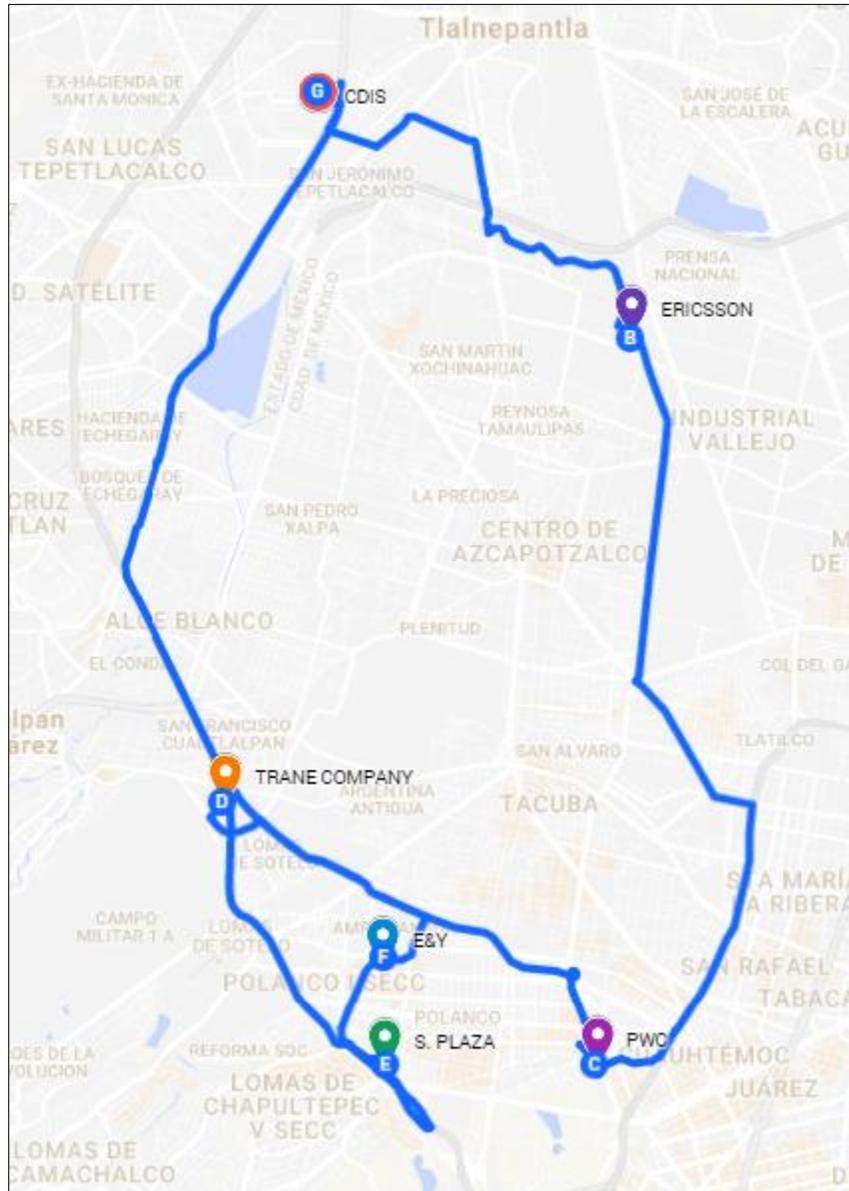


Ilustración 5.31 Recorrido de la Ruta 2 Centro

El recorrido en esta ruta se ve mejor definido, pero de igual manera en los punto D, E y F podría existir un reacomodo que permita un recorrido más lineal y quizás en menor tiempo.

5.2.1.3 Ruta 3 Sur

La tercer ruta está integrada por cuatro comedores que están distribuidos en la zona sur y centro de la ciudad, aunque el recorrido es algo extenso los tiempos se cumplen y la capacidad está dentro de lo especificado.

RUTA	Orden de recorrido	COMEDOR	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]
3	A	CDIS (inicio)	06:00	06:30
	B	DHL HANGARES	07:05	07:50
	C	GSK	08:25	10:10
	D	HIR Casa	10:45	11:20
	E	S. BOTURINI	12:42	13:52
	F	CDIS (fin)	14:32	-

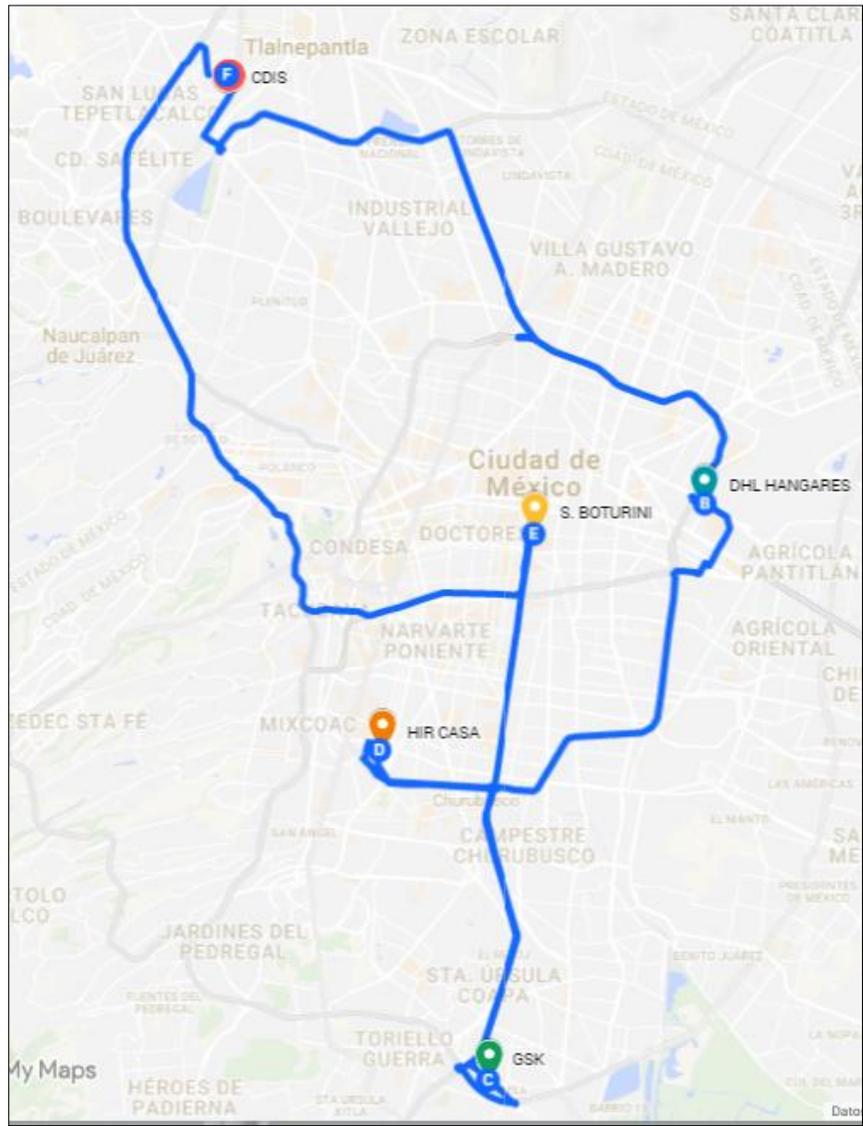


Ilustración 5.32 Recorrido Ruta 3 Sur

Este recorrido se ve más circular, además se efectúa en contraflujo al tráfico y los horarios de recepción se cumplen positivamente. La capacidad se cumple porque los comedores son dos que atienden a más de 700 comensales y dos pequeños, de 150 comensales.

5.2.1.4 Ruta 4 Santa Fe

La ruta cuatro la conforman los comedores de Santa Fe y Nestlé que se encuentra en Toluca. A pesar de la situación vial en esa zona está la ventaja de que los comedores están cerca unos de otros y que la demanda es mínima, de ahí que el tiempo de reparto sea corto. Para el caso de Nestlé queda perfecto en esta ruta, ya que la autopista queda sobre la marcha.

RUTA	Orden de recorrido	COMEDOR	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]
4	A	CDIS (inicio)	06:00	06:30
	B	S. BOSQUES	07:10	07:40
	C	McCann	07:54	08:36
	D	TUPPERWARE	08:56	09:26
	E	UNILEVER BOSQUES	09:31	10:16
	F	GRUPO MODELO	10:26	11:11
	G	NESTLÉ	11:46	12:33
	H	CDIS (fin)	13:33	-

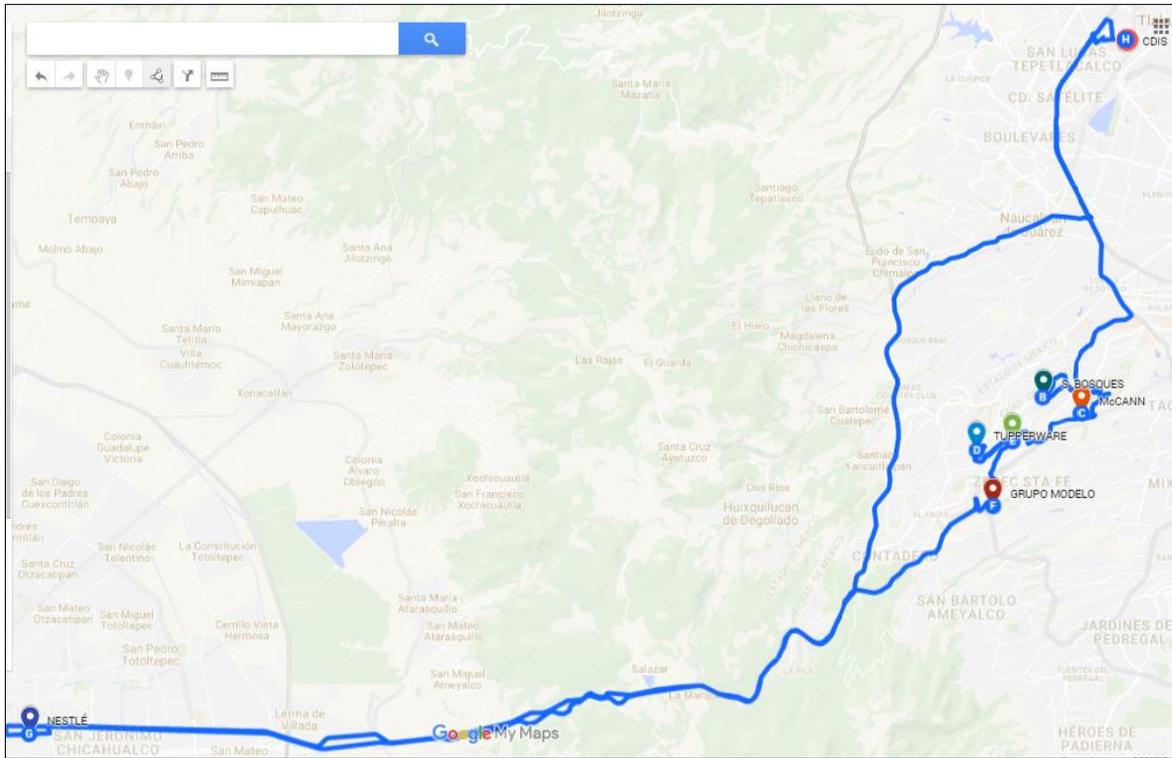


Ilustración 5.33 Recorrido Ruta 4 Santa Fe

Como en el caso de la Ruta 1 y 2, aquí también podrían evaluarse otras alternativas de recorrido, pero estamos tomando el orden que se obtuvo de WinQSB.

5.2.2 Asignación de rutas a los camiones

Para asignar las rutas a los camiones se contemplaron los factores evaluados: la distancia recorrida, el costo, el tiempo y la capacidad de carga. Se buscó que fuera lo más equitativo posible y el resultado es el siguiente:

RUTA	CAMIÓN DESIGNADO	CARGA [KG]	TIEMPO DE DISTRIBUCIÓN [hh:mm]	DISTANCIA RECORRIDA [km]	COSTO DE DISTRIBUCIÓN
1	Isuzu-1	5339.34	09:10	63.1	\$444.34
2	Isuzu-2	5037.84	08:42	44.4	\$178.96
3	Isuzu-1	4145.481	08:32	94.7	\$381.71
4	Isuzu-2	2544.813	07:33	153.6	\$955.12

Tabla 5.17 Asignación de rutas a las unidades de transporte

Por lo tanto el camión Isuzu- 1 estará trasportando un total de 9, 484.821 [kg], recorrerá 157.8 [km] y estará en ruta alrededor de 17 horas y 42 minutos. El costo para esta unidad está valuado en \$ 826.05

Para el camión Isuzu-2 la cantidad a transportar será de 7, 582.653 [kg]; su recorrido será de 198 [km] y estará en distribución aproximadamente 16 horas y 15 minutos con un costo de \$ 1,134.08
Ambos camiones realizan una ruta cercana y una en donde deben desplazarse más.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Contar una flota eficiente y una plantilla que cumpla las expectativas del cliente comienza por una planificación de la distribución. Sodexo está iniciando con el departamento de logística, y este diseño se realizó para que la compañía cuente con un ruteo eficiente que sea parteaguas en proyectos futuros.

La zonificación que se otorga cuenta con un buen análisis que contempla los factores más importantes tanto para la empresa como para el cliente interno y el cliente potencial. El resultado obtenido define adecuadamente el circuito, teniendo rutas en cada una de las zonas de la ciudad: Norte, Centro, Sur y Santa Fe. Estas rutas permiten que el recorrido sea lo más circular posible y por ende que los costos por el uso del combustible sean más bajos.

El nuevo tipo de cambio, el incremento en los combustibles, la flexibilización de los precios y un incremento en los salarios mínimos, son factores de riesgo que la logística enfrenta en estos días, por lo tanto el costo evaluado contempló jornada laboral y precio actualizado del combustible dando totales lo más completos posible.

Además, la propuesta cumple con las capacidades de los camiones y con la disposición que tienen para el reparto de los abarrotes; garantizan la entrega al cliente en los horarios permitidos y se realiza en el tiempo estipulado de la jornada del trabajador.

El beneficio no solo es para una buena organización en la distribución de los productos, sino que también puede tomarse en cuenta para delegar responsabilidades y tener un mayor control de la ruta, no obstante rotar al personal es una opción favorable para que todos conozcan la zonificación que se tiene y con esto también se pueden definir los días para el reparto de abarrotes brindando así un mejor servicio.

Ahora lo más recomendable es poner en marcha el diseño y evaluar nuevamente los factores pero ya con datos reales, sobre todo los tiempos de traslado, para que se pueda tener un mejor resultado con el recorrido de las rutas y estas sean adecuadas y fiables evitando el crecimiento de la flota y de la plantilla, garantizando el buen uso de las unidades de transporte con las que se cuenta e incrementando el rendimiento.

REFERENCIAS

Alvorenge, G. B., Mateus, G. R. & Tami, G. (2005). A genetic and set partitioning two-phase approach for the vehicle routing problem with time Windows. *Science Direct Computer & Operational Research* 34(2007), 1561-1584. Recuperado el 25 de enero 2016 de la base de datos ELSEVIER.

Antún, J.P. (1993). *Logística, una visión sistémica*. México: Instituto de Ingeniería UNAM.

Antún, J.P. (2013). *Distribución urbana de mercancías: Estrategias con centros logísticos*. Instituto de Ingeniería UNAM.

Barajas, Wilson (2009). *Desarrollo de un algoritmo heurístico para establecer las rutas de transporte escolar de la secretaría de educación de Bogotá*. Tesis de Maestría en Sistemas y Computación. Universidad Nacional de Colombia.

Benavente, M. & Bustos, J. (2005). *Estado del arte en el problema de ruteo de vehiculos (VRP)*. Temuco: Ediciones Universidad La Frontera.

Bolstad, P. (2005). *GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems* (2ª Ed). USA. White Bear Lake, MN: Eider Press.

Borenstein, Y. & Moraglio, A. (2014). *Theory and Principled Methods for the Design of Metaheuristics* (pp. 1-5). United Kingdom: Springer.

Bowersox, D.J., Closs, D.J. & Cooper M.B. (2007). *Administración y logística en la cadena de suministros* (2ª Ed). México: McGraw- Hill.

Brusco, M. & Stahl, S. (2005) *Branch and Bound applications in a combinatorial data analysis* (pp. 15-28). USA: Springer Science and Business.

Burrough, P.A. & McDonnell, R.A. (1998) *Principles of geographical information systems*. Oxford. Oxford, University Press.

Chi-Bin, C. & Keng-Pin W. (2008) Solving a vehicle routing problem with time windows by decomposition technique and a genetic algorithm. *Expert System with Applications* 36(2009), 7758-7763. Recuperado el 24 de enero 2016 de la base de datos EL SEVIER.

Cortez Gordillo, Luis Rodrigo Bernal. (2006) *Aplicación de Winqsb como herramienta para el control estadístico de calidad de un proceso de producción de envases plásticos*. Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

De la Fuente, J.L. (1998). *Técnicas de cálculo para Sistemas de Ecuaciones. Programación lineal y Programación entera* (2ª Ed., pp. 650-662). Barcelona: Editorial Reverté.

De la Lama, P. (2010). *Distribución de alimentos perecederos en el centro histórico de la Ciudad de México*. Tesis de Maestría en ingeniería de Sistemas- Investigación de operaciones. Universidad Nacional Autónoma de México.

Espinoza, R. (2007). *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para la Prevención de Accidentes de Tránsito en Carreteras. Una propuesta Metodológica*. Tesis de Maestro en Ingeniería Sistemas- Transporte. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Ferucci, F., Bock, S. & Gendreau, M. (2012). A pro-active real-time control approach for dynamic vehicle routing problems dealing with the delivery of urgent goods. *European Journal of Operational Research* 225(2013), 130-141. Recuperado el 24 de enero 2016 de la base de datos EL SEVIER.

Fitzgerald, J. H. (2007). *Map Printing Methods*. Obtenido el 9 de febrero 2016 del sitio Web Home Office: <http://www.broward.org/library/bienes/lii14009.htm>

Henríquez, Mónica, Hernández, Elizabeth & Ernesto Walter. *Diseño de una guía de aplicación del software WinQSB, para el desarrollo de herramientas cuantitativas de la ingeniería industrial* (2010), El Salvador.

Ho, W and G., Ji, P. & Lau, H. (2007). A hybrid genetic algorithm for the multi depot vehicle routing problem. *Science Direct Computer & Operational Research* 34(2007), 1561-1584. Recuperado el 25 de enero 2016 de la base de datos ELSEVIER.

Martí, R. (2003). *Procedimientos metaheurísticos en optimización Combinatoria*. Documento interno, Universidad de Valencia: Departamento de Estadística e Investigación Operativa.

Martínez, F.R. (2009). *El sistema de transporte de carga en la Ciudad de México. Factores a considerar en el análisis de transporte de carga* (pp. 161-174). Bogotá, Colombia: Universidad del Rosario.

Moutahir, H. & Agazzi, V. (2014, Octubre). Infrastructure des Données spatiales et application SIG [version electronica]. *Presses Academies Francophones* 3(15), 16-22.

Nabila A., Gendreau M. & Potvin J. Y. (2010). An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles. *European Journal of Operational Research* 202(3), 756-763. Recuperado el 24 de enero 2016 de la base de datos ELSEVIER.

Ocaña, R.V., Mundó J. & Lusitano J. (2002, Mayo). Metodología para la Creación de Sistemas de Información Geográfica en Transporte para la Planificación y la Gestión urbana [versión electrónica] *FERMENTUM Revista Venezolana de Sociología y Antropología* 12(34), 303-320.

Olivera, A. (2004). *Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos*. Montevideo, Uruguay: Ediciones Universidad de La República.

Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C. & Medaglia, A.L. (2012). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research* 225(2013), 1-11. Recuperado el 24 de enero 2016 de la base de datos ELSEVIER.

Ríos, R. & González, J.L. (2000, Octubre). Investigación de Operaciones en acción: Heurísticas para la solución del TSP [versión electrónica] *Ingenierías*, 3(9), 15-20.

Rodríguez R., Puente M. & Lozano M. (2013, Diciembre). Modelo para la representación de redes y búsqueda de caminos óptimos en Sistemas de Información Geográfica [versión electrónica]. *INGENIARE Revista chilena de ingeniería* 21(3).

Sevgi, E. & Miller, E. (2012). A green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E* 48(2012), 100-114. Recuperado el 25 de enero 2016 de la base de datos ELSEVIER.

Taha, H. A. (2004) *Investigación de operaciones* (7ª Ed., pp. 390-405). México: Pearson Education.

Tinoco, R. (2004). *Definición y algunas aplicaciones de los Sistemas de Información geográfica*. Documento interno, México: Universidad Iberoamericana.

Toth, P., Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing Problem, Problems, Methods and Applications* (2ª Ed.). Philadelphia, USA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).

<https://langleruben.wordpress.com/%C2%BFque-es-un-sig/> (Consultado 13 de octubre 2015)

https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica#Historia_de_su_desarrollo (Consultado 13 de octubre 2015)

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/mapadigital/> (Consultado 14 de octubre 2015)

<http://docs.gvsig.org/plone/projects/gvsig-desktop/funcionalidades> (Consultado 14 de octubre 2015)

<http://live.osgeo.org/es/standards/standards.html> (Consultado 14 de octubre 2015)

<http://www.cartesia.org/foro/viewtopic.php?t=18047> (Consultado 14 de octubre 2015)

<http://www.fao.org/docrep/003/t0446s/t0446s07.htm> (Consultado 14 de octubre 2015)

<http://es.slideshare.net/mhernand/01-sig-introduccion> (Consultado 16 de octubre 2015)

<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#/na/004700000057000000/> (Consultado 22 de octubre 2015)

https://www2.caliper.com/store/?_ga=1.242328130.1147794572.1441136314 (Consultado 24 de octubre 2015)

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484> (Consultado 6-15 de junio 2016)

<http://www.fimevic.df.gob.mx/problemas/1diagnostico.htm#parque> (Consultado 7-15 de junio 2016)

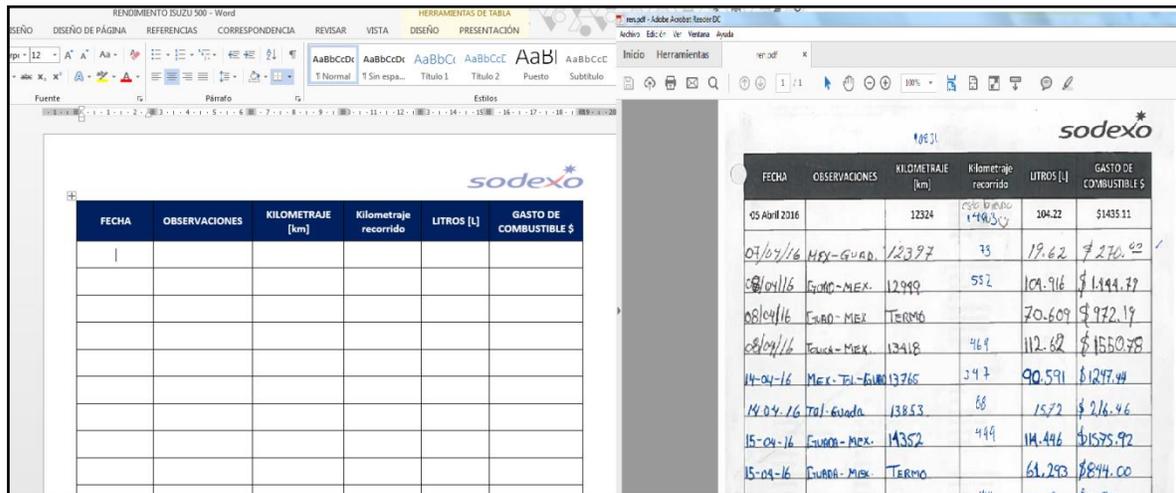
http://www.ssp.df.gob.mx/reglamentodetransito/documentos/nuevo_reglamento_transito. (Consultado 15 de junio de 2016)

ANEXO I

Rendimiento de las unidades de transporte

Para conocer el rendimiento de las unidades se realizó una bitácora para monitorear la carga de combustible y el kilometraje registrado.

Este ejercicio se llevó a cabo durante cinco meses y para los registros se utilizó el siguiente formato:



FECHA	OBSERVACIONES	KILOMETRAJE [km]	Kilometraje recorrido	LITROS [L]	GASTO DE COMBUSTIBLE \$
05 Abril 2016		12324	1946.5	104.22	\$1435.11
07/07/16	MEX-GUAD.	12397	75	19.62	\$270.02
08/07/16	GUAD-MEX.	12999	552	109.916	\$1494.89
08/04/16	GUAD-MEX	TERMO		70.609	\$972.19
08/04/16	TEUCA-MEX.	13418	469	112.82	\$1550.98
14-04-16	MEX-TEL-GUAD	13765	347	90.591	\$1247.44
14-04-16	TEL-GUADA	13853	88	15.72	\$216.46
15-04-16	GUAD-MEX.	14352	449	114.416	\$1575.92
15-04-16	GUAD-MEX	TERMO		61.293	\$844.00

Figura Anexo I 1. Formato de registro para obtener el rendimiento

Aquí los operarios registraban el kilometraje que marcaba el camión al cargar diésel, la cantidad en litros del combustible y el costo. Gracias a estos datos se evaluó el rendimiento promedio que tienen las unidades de transporte a la hora de realizar los repartos en la Zona Metropolitana.

1	Fecha	Observaciones	Kilometraje [km]	Kilómetros recorridos [km]	Costo por litro	Importe del combustible \$	Litros [l]	Rendimiento [km/l]
2	05-abr		12324		13.77	\$ 1,435.11	104.2200436	0
3	07-abr	Méx- Gdl	12397	73	13.77	\$ 270.00	19.60784314	3.723
4	08-abr	Gdl-Méx	12949	552	13.77	\$ 1,444.79	104.9230211	5.260999868
5	08-abr	Toluca-Méx	13418	469	13.77	\$ 1,550.78	112.6201888	4.16443983
6	14-abr	Méx- Gdl	13765	347	13.77	\$ 1,247.44	90.59114016	3.830396652
7	14-abr	Toluca-Gdl	13853	88	13.77	\$ 216.46	15.71968046	5.598078167
8	15-abr	Gdl-Méx	14352	499	13.77	\$ 1,575.92	114.4458969	4.36013884
9	15-abr	Toluca-Méx	14793	441	13.77	\$ 1,388.02	100.8002905	4.374987392
10	15-abr	México	14890	97	13.77	\$ 245.11	17.80029049	5.449349272
11	21-abr	Méx-Toluca	15230	340	13.77	\$ 1,200.00	87.1459695	3.9015
12	21-abr	Toluca-Gdl	15313	83	13.77	\$ 237.81	17.27015251	4.805979564
13	21-abr	Gdl-Méx	15773	460	13.77	\$ 1,286.37	93.41830065	4.924088715
14	22-abr	Toluca-Méx	16249	476	13.77	\$ 1,541.03	111.9121278	4.253337054
15	22-abr	México	16350	101	13.77	\$ 315.20	22.89034132	4.412341371
16	28-abr	Toluca-Gdl	16780	430	13.77	\$ 1,336.10	97.02977487	4.431629369

Figura Anexo I 2. Cálculo del rendimiento

H	I	J	K
Rendimiento [km/l]		Fecha	(Todas) ▾
0			
3.723		Promedio de Rendimiento [km/l]	
5.260999868			4.23
4.16443983			
3.830396652			
5.598078167			
4.36013884			
4.374987392			
5.449349272			
3.9015			
4.805979564			
4.924088715			
4.253337054			
4.412341371			

Figura Anexo I 3. Rendimiento Promedio

Nivel de servicio de nuestro punto de suministro

El dato de la demanda de los comedores y el nivel de servicio se calculó gracias a los datos extraídos del sistema AX/ OPTIMUM.

En esta plataforma se registran los pedidos y se remisionan los despachos a cada sitio, así el sistema arroja datos para poder obtener el Fill Rate y la cantidad de piezas que ordenan los comedores cada semana. De esta manera se consultaron los datos que utilizamos para el cálculo del nivel de servicio, la demanda de cada comedor y peso movilizado al mes.

A continuación se presentan las siguientes capturas en donde se visualiza paso a paso como se descarga la información que se encuentra en el “Detalle de las órdenes de venta”.

El reporte que se extrae del sistema contiene información que se empleó para calcular el Fill rate (Figura 7).



Figura Anexo I 4. Acceso Ax/Optimum y búsqueda de datos

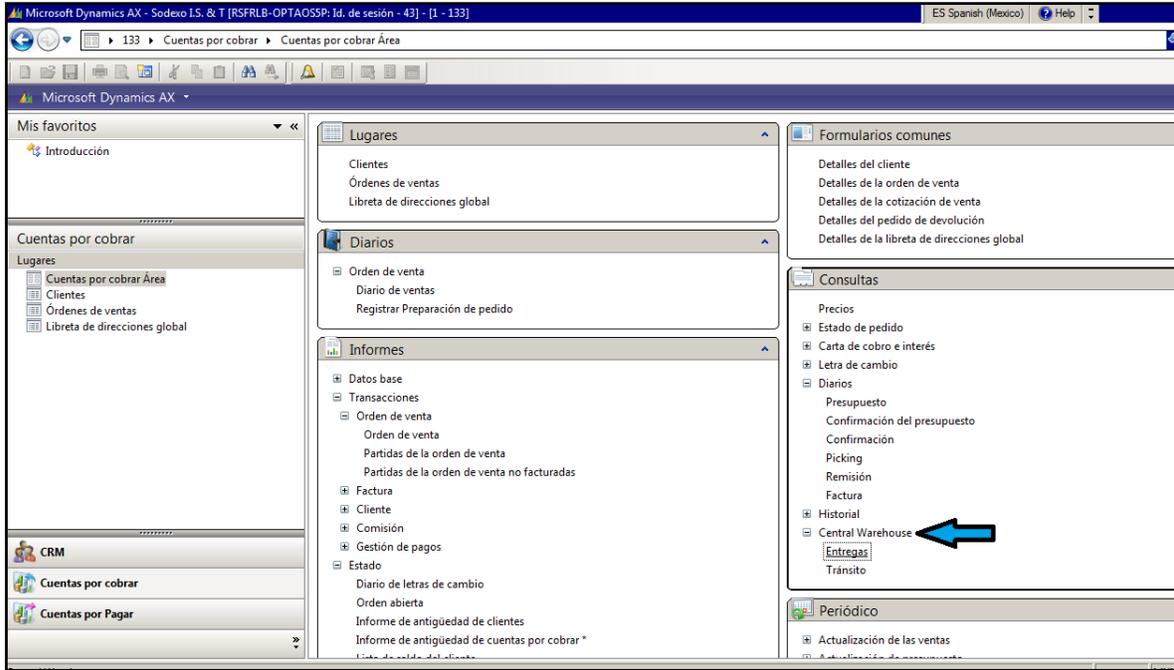


Figura Anexo I 5. Detalles de las órdenes de venta

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Nombre	Profit cent	Estado de	Fecha solicitada	Entregado	Conjunto	Código de	Texto	Pedi	Entregado	Unidad	Precio de ver	Im
30	CWH-2068 DHL AEROPUERTO	ME206801	Remisión	31/05/2016	30/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	14.00	14.00	KG	29.72	4
91	CWH-2069 ERNST & YOUNG EMPLEADOS	ME206901	Remisión	31/05/2016	30/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	28.00	28.00	KG	29.72	8
156	CWH-2054 PWC EMPLEADOS	ME205401	Remisión	31/05/2016	30/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	14.00	14.00	KG	29.72	4
211	CWH-2072 SCOTIABANK BOTURINI	ME207101	Remisión	31/05/2016	30/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	14.00	14.00	KG	29.72	4
486	CWH-2072 SCOTIABANK PLAZA	ME207201	Remisión	26/05/2016	25/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	14.00	14.00	KG	29.72	4
516	CWH-2143 AT&T MEGACENTRO	ME214301	Remisión	26/05/2016	25/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	14.00	14.00	KG	29.72	4
607	CWH-2090-GLOBAL CARD	ME209001	Remisión	26/05/2016	25/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	14.00	14.00	KG	29.72	4
645	CWH-2142 NESTLE CHOCOLATES	ME214202	Remisión	26/05/2016	25/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	14.00	14.00	KG	29.72	4
682	CWH-2074 SCOTIABANK BOSQUES	ME207401	Remisión	26/05/2016	25/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	14.00	14.00	KG	29.72	4
762	CWH-2121-UNILEVER TUTTILAN	ME212102	Remisión	25/05/2016	26/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	28.00	28.00	KG	29.72	8
808	CWH-2101-ACEROS CORSA	ME210101	Remisión	25/05/2016	26/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	14.00	14.00	KG	29.72	4
844	CWH-2091-DHL SUPPLY CHAIN	ME209101	Remisión	25/05/2016	26/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	14.00	14.00	KG	29.72	4
897	CWH-2103 ERICSSON TELECOM	ME210301	Remisión	25/05/2016	26/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	14.00	14.00	KG	29.72	4
960	CWH-2068 DHL AEROPUERTO	ME206801	Remisión	24/05/2016	24/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	14.00	14.00	KG	29.72	4
1002	CWH-2070 ERNST & YOUNG EMPLEADOS	ME207001	Remisión	24/05/2016	24/05/2016	ST-Lacteos	IT00264	LECHE CONDENSADA 397 G	4.00	4.00	LAT	17.60	
1016	CWH-2070 ERNST & YOUNG EMPLEADOS	ME207001	Remisión	24/05/2016	24/05/2016	ST- Secos	IT01632	KNORR CONDIMIX TARRO E	7.20	7.20	KG	42.40	3
1045	CWH-2069 ERNST & YOUNG EMPLEADOS	ME206901	Remisión	24/05/2016	24/05/2016	ST- Secos	IT00153	CONDIMIX SABOR POLLO S	28.00	28.00	KG	29.72	8

Figura Anexo I 6. Descarga de datos en Excel

En la figura 8 se especifican los datos que se utilizaron del reporte que arroja el sistema.

Posteriormente se descargó el catálogo de artículos para conocer datos específicos de los productos. Se utilizó la función “buscar” en nuestra data general para agregar la unidad, factor, costo y peso de cada artículo. Después se realizaron las operaciones para calcular el nivel de servicio en piezas y el dato del peso movilizado (Figura 9) y así poder obtener los datos buscados (Figura 10).

$$\text{Nivel de servicio CDIS – COMEDORES (Fill rate)} = \frac{\text{Cantidad Despachada}}{\text{Cantidad Solicitada}}$$

	MES	#ENTREG A	comedor	periodo de consumo	it	Ingrediente/artículo	validación	Unidad o presentación	costo \$	factor	unidad de inventario	peso kg	cantidad solicitada	Cantidad Enviada	RECHAZO \$	cantidad solicitada \$	Ca envi
2248	ENERO	9	DHL MACRO	04 AL 10 DE ENER	IT00394	PASTA ESPAGUETI PASTA ESPAGUETI LA MODERNA 2x BOL		1 BOL	4.19		1 BOL	0.2	63	63	0	\$ 263.97	\$
2249	ENERO	9	DHL MACRO	04 AL 10 DE ENER	IT00351	SAL DE MESA 1 KI SAL DE MESA LA FINA 1 KG		1 BOL	8.48		1 BOL	1	8	8	0	\$ 67.84	\$
2250	ENERO	9	DHL MACRO	04 AL 10 DE ENER	IT00352	SAL DE MESA IND SAL EN PORCIONES SOFISA 1/200x BOL		2000 PZA	81		1	1	1	1	0	\$ 81.00	\$
2251	ENERO	9	DHL MACRO	04 AL 10 DE ENER	IT00363	SALSA DE SOYA O SALSA DE SOYA ORIENTAL 1L BOT		1 BOT	60		1	1	1	1	0	\$ 60.00	\$
2252	ENERO	9	DHL MACRO	04 AL 10 DE ENER	IT00405	SOYA TEXTURIZADA SOYA TEXTURIZADA A GRANUL		1 KG	21		1	1	1	1	0	\$ 21.00	\$
2253	ENERO	9	DHL NAVE 6	04 AL 10 DE ENER	IT06526	ADEREZO "HONEY" ADEREZO "HONEY MUSTARD" BOTI GAL		1 GAL	184		1 GAL	3.78	1	1	0	\$ 184.10	\$
2254	ENERO	9	DHL NAVE 6	04 AL 10 DE ENER	IT00010	ADEREZO CESAR I ADEREZO CESAR BOTE 3.78 LT		1 GAL	184		1 GAL	3.78	1	1	0	\$ 184.10	\$
2255	ENERO	9	DHL NAVE 6	04 AL 10 DE ENER	IT06525	ADEREZO MIL ISL ADEREZO MIL ISLAS BOTE DE 3.78 GAL		1 GAL	184		1 GAL	3.78	1	1	0	\$ 184.09	\$
2256	ENERO	9	DHL NAVE 6	04 AL 10 DE ENER	IT00019	ADEREZO RANCHI ADEREZO ECONOMICO RANCHI BO		1 L	184		1 L	3.78	1	1	0	\$ 184.09	\$
2257	ENERO	9	DHL NAVE 6	04 AL 10 DE ENER	IT01578	AGUA LIPTON BO AGUA LIPTON BOLSA 250 GRS HOF BOL		1 BOL	77.7		1 BOL	0.25	6	6	0	\$ 465.38	\$
2258	ENERO	9	DHL NAVE 6	04 AL 10 DE ENER	IT08079	ALUBIA A GRAN ALUBIA CHICA 500 GR		1 BOL	9.66		1 BOL	0.5	4	4	0	\$ 38.64	\$
2259	ENERO	9	DHL NAVE 6	04 AL 10 DE ENER	IT00084	ARROZ 1 KG ARROZ 1 KG		1 BOL	11.5		1 BOL	1	14	14	0	\$ 160.30	\$
2260	ENERO	9	DHL NAVE 6	04 AL 10 DE ENER	IT09199	AZUCAR ESTANDA AZUCAR MORENA BULTO 50 KG		50 KG	670		50 KG	1	1	1	0	\$ 670.00	\$
2261	ENERO	9	DHL NAVE 6	04 AL 10 DE ENER	IT04349	CHILE CASABEL I CHILE CASABEL EN HOJUELA		1 KG	139		1 KG	1	1	1	0	\$ 138.81	\$
2262	ENERO	9	DHL NAVE 6	04 AL 10 DE ENER	IT04351	CHILE GUAIJILLO E CHILE GUAIJILLO EN HOJUELA		1 KG	79.8		1 KG	1	1	1	0	\$ 79.81	\$
2263	ENERO	9	DHL NAVE 6	04 AL 10 DE ENER	IT04352	CHILE MORITA EN CHILE MORITA EN HOJUELA		1 KG	70.6		1 KG	1	1	0	\$ 70.56	\$	
2264	ENERO	9	DHL NAVE 6	04 AL 10 DE ENER	IT04353	CHILE PASILLA EN CHILE PASILLA EN HOJUELA		1 KG	123		1 KG	1	1	1	0	\$ 123.44	\$
2265	ENERO	9	DHL NAVE 6	04 AL 10 DE ENER	IT00129	CHILES NACHOS E CHILES NACHOS BOLSA COSTEÑA 3 BOL		3 KG	62.1		3 KG	3	3	3	0	\$ 186.42	\$

Figura Anexo I 7. Creación de una base de datos

Excel interface showing a data table with columns for validation, unit, cost, factor, weight, quantity, and service level. The table is titled "NIVEL DE SERVICIO CDIS-COMEDORES - Excel".

Annotations: "Búsqueda de datos" points to columns G-J, and "Cálculos" points to columns M-U.

	validación	Unidad o presentación	costo \$	factor	unidad de inventario	peso kg	cantidad solicitada	Cantidad Enviada	RECHAZO \$	cantidad solicitada \$	Cantidad enviada en \$	peso total solicitado KG	peso total enviado KG	Porcentaje de rechazos	NIVEL DE SERVICIO EN PZAS	NIVEL DE SERVICIO EN \$
248	PASTA ESPAGUETI LA MODERNA 20	BOL	4.19	1	BOL	0.2	63	63	0	\$ 263.97	\$ 263.97	12.6	12.6	0%	100%	1
249	SAL DE MESA LA FINA 1 KG	KG	8.48	1	BOL	1	8	8	0	\$ 67.84	\$ 67.84	8	8	0%	100%	1
250	SAL EN PORCIONES SOP'ISA 1/2000	BOL	81	2000	PZA	1	1	1	0	\$ 81.00	\$ 81.00	1	1	0%	100%	1
251	SALSA DE SOYA ORIENTAL 1L	BOT	60	1	BOT	1	1	1	0	\$ 60.00	\$ 60.00	1	1	0%	100%	1
252	SOYA TEXTURIZADA A GRANUL	KG	21	1	KG	1	1	1	0	\$ 21.00	\$ 21.00	1	1	0%	100%	1
253	ADEREZO "HONEY MUSTARD" BOTI	GAL	184	1	GAL	3.78	1	1	0	\$ 184.10	\$ 184.10	3.78	3.78	0%	100%	1
254	ADEREZO CESAR BOTE 3.78 LT	LAT	184	3.78	L	3.78	1	1	0	\$ 184.10	\$ 184.10	3.78	3.78	0%	100%	1
255	ADEREZO MIL ISLAS BOTE DE 3.78	GAL	184	1	GAL	3.78	1	1	0	\$ 184.09	\$ 184.09	3.78	3.78	0%	100%	1
256	ADEREZO ECONOMICO RANCH BOI	LAT	184	3.78	L	3.78	1	1	0	\$ 184.09	\$ 184.09	3.78	3.78	0%	100%	1
257	AGUA LIPTON BOLSA 250 GRS HOR	BOL	77.7	1	BOL	0.25	6	6	0	\$ 466.38	\$ 466.38	1.5	1.5	0%	100%	1
258	ALUBIA CHICA 500 GR	BOL	9.66	1	BOL	0.5	4	4	0	\$ 38.64	\$ 38.64	2	2	0%	100%	1
259	ARROZ 1 KG	BOL	11.5	1	BOL	1	14	14	0	\$ 160.30	\$ 160.30	14	14	0%	100%	1
260	AZUCAR MORENA BULTO 50 KG	BOL	670	50	KG	50	1	1	0	\$ 670.00	\$ 670.00	50	50	0%	100%	1
261	CHILE CASCABEL EN HOJUELA	BOL	139	1	KG	1	1	1	0	\$ 138.81	\$ 138.81	1	1	0%	100%	1
262	CHILE GUAJILLO EN HOJUELA	BOL	79.8	1	KG	1	1	1	0	\$ 79.81	\$ 79.81	1	1	0%	100%	1
263	CHILE MORITA EN HOJUELA	BOL	70.6	1	KG	1	1	0	0	\$ 70.56	\$ -	1	0	0%	0%	1
264	CHILE PASILLA EN HOJUELA	BOL	123	1	KG	1	1	1	0	\$ 123.44	\$ 123.44	1	1	0%	100%	1
265	CHILES NACHOS BOLSA COSTEÑA 3	BOL	62.1	3	KG	3	3	3	0	\$ 186.42	\$ 186.42	9	9	0%	100%	1

Figura Anexo I 8. Análisis de datos

Excel interface showing a PivotTable titled "Promedio de NIVEL DE SERVICIO EN PZAS". The PivotTable is filtered by "comedor" (Todos) and "NIVEL DE SERVICIO" (Todos). The PivotTable shows the average service level percentage by month.

Annotations: "DEMANDA EN PESO KG" points to the "Suma de peso total solicitado KG" column, and "NIVEL DE SERVICIO" points to the "Promedio de NIVEL DE SERVICIO EN PZAS" column.

Etiquetas de fila	Suma de peso total solicitado KG	Suma de cantidad solicitada	Suma de Cantidad Enviada	Suma de RECHAZOS	Suma de cantidad solicitada \$	Suma de Cantidad enviada en \$	Promedio de NIVEL DE SERVICIO EN PZAS	
5								
6	ENERO	8255.5285	7832.61	7260.11	0	\$ 296,509.97	\$ 264,613.75	90.63%
7	FEBRERO	9172.254	8259.63	7072.37	55	\$ 547,017.76	\$ 446,137.29	84.61%
8	MARZO	10496.224	8591	6629.93	40	\$ 493,563.16	\$ 432,197.63	87.01%
9	ABRIL	43046.26	37122.4	26705.48	69	\$ 2,237,698.90	\$ 1,914,524.79	79.79%
10	NOVIEMBRE	7640.547	7646.1	7178.3	0	\$ 233,677.92	\$ 214,586.92	88.43%
11	MAYO	34002.788	29320.35	23547.33	122	\$ 2,072,053.66	\$ 1,626,065.73	79.49%
12	Total general	112613.6015	98772.09	78393.52	286	\$ 5,880,521.36	\$ 4,898,126.11	82.40%

Figura Anexo I 9. Resultado del Nivel de Servicio del Punto de Suministro

Los datos del peso son los que se tomaron para el cálculo de la carga, ya que el dato fue obtenido directamente del sistema y es el factor que se tiene registrado. Por eso son mucho más exactos y no hay tanta variación como en el peso considerado de capacidad de las taras.

Tiempo de descarga en los sitios

Para encontrar este dato se hizo uso del GPS que las unidades de transporte tienen integrada, en los reportes que arroja se puede ver la hora a la que arriban al sitio y la hora en la que salen. En este trabajo se definió como el tiempo promedio de permanencia porque se incluye el tiempo desde la espera para ingresar, la descarga y revisiones de los productos en el comedor hasta la salida del camión.

Fecha	Ubicación	Velocidad	Nivel de batería	Voltage de batería	Info
05/02/2017 8:08:17 AM	265 GALEANA, MIGUEL HIDALGO, TLALNEPANTLA DE BAZ, EDO MEXICO, 54060, MX	0	87,65	14,2353	
05/02/2017 8:05:17 AM	28 GALEANA, LA LOMA, TLALNEPANTLA DE BAZ, EDO MEXICO, 54060, MX	0	87,65	14,2353	
05/02/2017 8:02:17 AM	28 GALEANA, LA LOMA, TLALNEPANTLA DE BAZ, EDO MEXICO, 54060, MX	0	87,65	14,2353	
05/02/2017 8:00:18 AM	267 GALEANA, MIGUEL HIDALGO, TLALNEPANTLA DE BAZ, EDO MEXICO, 54060, MX	0	87,65	14,2353	
05/02/2017 8:00:17 AM	267 GALEANA, MIGUEL HIDALGO, TLALNEPANTLA DE BAZ, EDO MEXICO, 54060, MX	0	87,65	14,2353	
05/02/2017 7:59:18 AM	267 GALEANA, MIGUEL HIDALGO, TLALNEPANTLA DE BAZ, EDO MEXICO, 54060, MX	1	87,65	14,2353	
05/02/2017 7:57:36 AM	267 GALEANA, MIGUEL HIDALGO, TLALNEPANTLA DE BAZ, EDO MEXICO, 54060, MX	0	87,65	12,5882	
05/02/2017 7:52:02 AM	28 GALEANA, LA LOMA, TLALNEPANTLA DE BAZ, EDO MEXICO, 54060, MX	0	87,65	12,5882	
05/02/2017 7:46:24 AM	28 GALEANA, LA LOMA, TLALNEPANTLA DE BAZ, EDO MEXICO, 54060, MX	0	87,65	12,5882	

Figura Anexo I 12. Reporte GPS

ANEXO II

Matriz origen destino

Los datos de esta matriz se obtuvieron de Google Maps, los criterios que se usaron fueron los siguientes:

- Establecer una hora de recorrido para todos los comedores, la hora que se estableció fue 08:00 am en día martes, se consideró esta hora por la complejidad en las vialidades y el día porque es uno de los días destinado al reparto de abarrotes.
- De las opciones que da Google Maps tomar las mejores en tiempo.
- Evitar peajes y autopistas, haciendo una excepción en el comedor de Nestlé.

El procedimiento se muestra de la Figura Anexo II 1- Figura Anexo II 3.

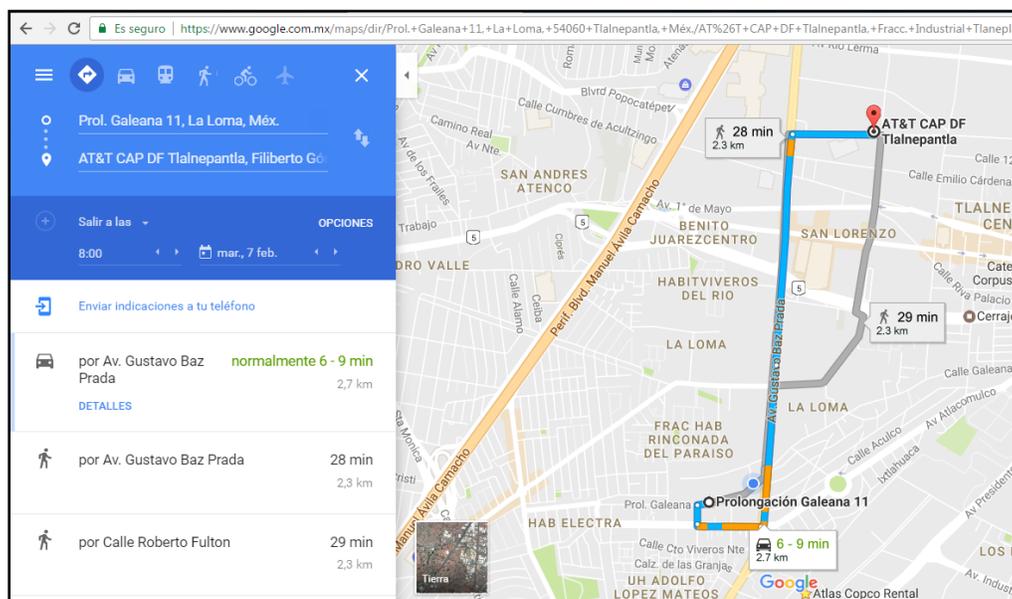


Figura Anexo II 1. Rutas en Google Maps- especificar hora y día

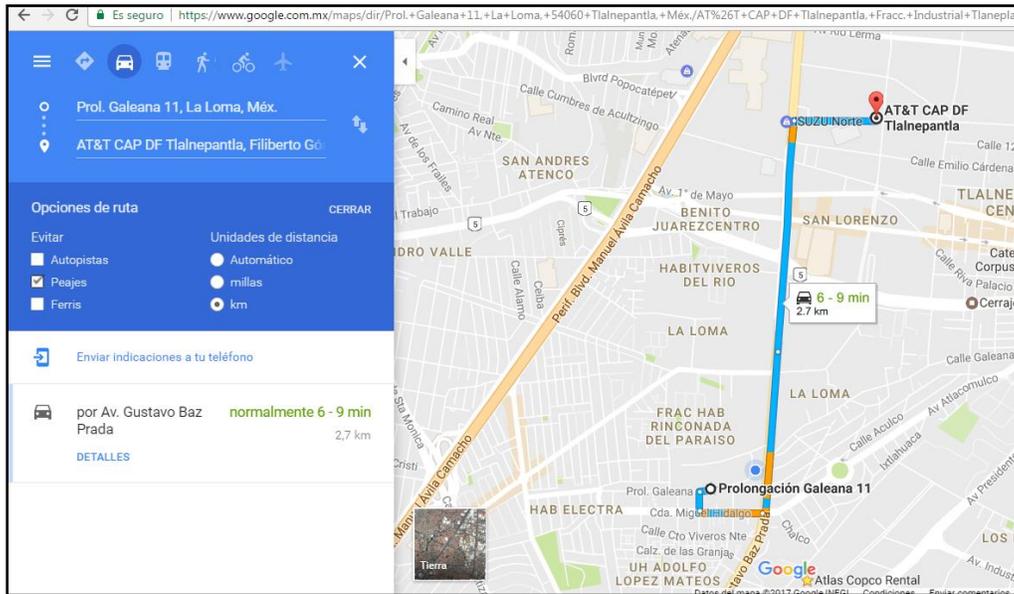


Figura Anexo II 2. Opciones de ruta

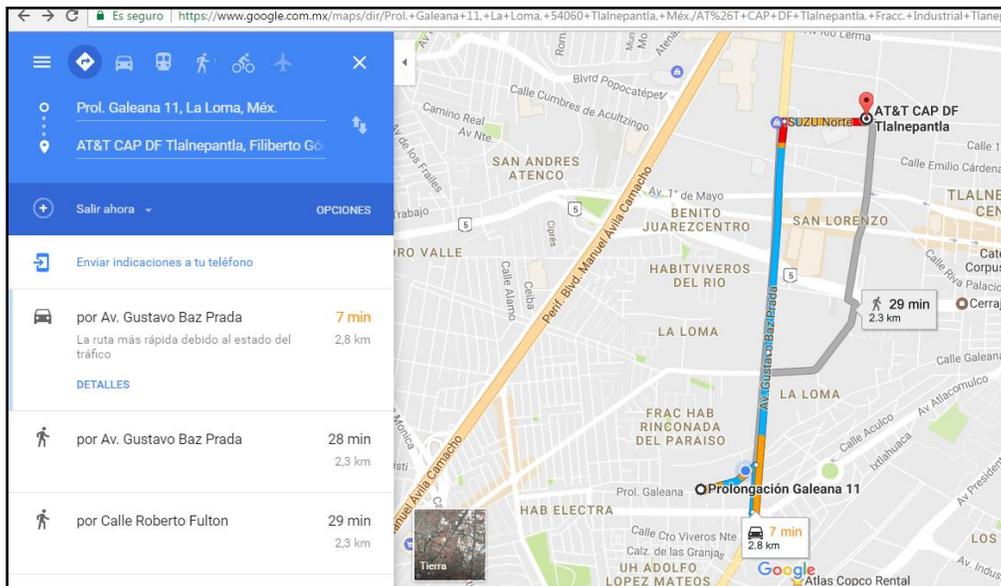


Figura Anexo II 3. Selección del recorrido más óptimo

Los resultados de las iteraciones se presentan a continuación

		TIEMPO [min]																						
DESTINO mi		ACEROS	AT&T	ATLAS	DHL	DHL	E&Y	ERICSSON	GERDAU	GLOBAL	GRUPO	GSK	HIR Casa	McCann	NESTLÉ	PWC	S. BOSQUES	S. BOTURINI	S. PLAZA	TRANE	TUPPERWARE	UNILEVER	UNILEVER	
ORÍGEN	CDIS	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO
CDIS		30	8	6	35	16	40	16	26	18	50	60	45	65	90	30	40	55	40	24	60	45	16	
ACEROS	27		23	25	31	29	45	29	40	33	70	65	55	70	85	40	60	40	45	45	75	60	24	
AT&T	8	25		7	35	14	40	18	26	16	120	60	45	60	90	50	45	55	40	30	60	50	15	
ATLAS	6	16	10		30	16	30	12	26	20	55	55	40	45	65	30	40	45	35	22	55	40	16	
DHL	35	30	40	35		40	45	30	55	45	60	35	30	50	85	40	60	18	45	45	70	55	40	
DHL SUPPLY	22	35	20	24	45		35	40	12	14	50	55	45	50	65	40	45	55	40	30	60	50	7	
E&Y	18	30	20	16	26	26		26	40	35	30	30	22	20	50	10	18	26	7	10	30	22	28	
ERICSSON	18	24	20	16	26	30	28		40	30	55	55	45	45	75	28	45	35	35	30	60	50	28	
GERDAU	22	35	22	24	45	8	35	35		16	55	60	45	50	70	40	45	55	40	30	60	50	6	
GLOBAL	18	30	16	18	40	7	45	30	18		60	60	50	65	65	55	50	60	50	40	60	55	7	
GRUPO	40	55	45	45	50	40	30	50	65	55		45	35	26	35	35	14	45	30	35	26	10	50	
GSK	50	60	50	45	35	55	40	60	65	60	60		35	50	65	45	50	35	35	40	60	55	55	
HIR Casa	35	45	30	30	22	40	22	40	50	40	45	24		35	60	24	30	22	18	24	50	35	40	
McCann	30	45	35	30	40	35	20	35	50	40	16	35	26		35	24	10	30	18	22	20	7	40	
NESTLÉ	60	85	60	60	70	60	55	60	65	60	40	55	65	50		60	45	70	55	50	55	40	65	
PWC	22	30	24	22	28	28	9	24	40	30	35	28	24	22	55		22	18	12	12	35	24	28	
S. BOSQUES	30	40	30	30	35	35	20	40	50	40	20	35	30	14	40	22		35	18	22	20	10	35	
S. BOTURINI	40	28	35	35	12	40	30	30	50	45	45	28	24	35	65	22	40		30	35	50	40	40	
S. PLAZA	20	30	18	18	26	26	7	28	35	28	28	26	20	16	45	12	14	24		8	26	18	26	
TRANE	20	30	18	18	30	22	9	28	35	28	30	28	20	20	50	14	18	26	8		28	14	24	
TUPPERWARE	40	45	40	40	40	45	28	45	55	50	14	40	35	22	40	30	8	40	28	26		5	28	
UNILEVER	35	45	35	35	40	40	24	40	55	45	10	35	30	14	35	28	7	35	22	22	18		35	
UNILEVER	18	28	16	20	40	2	30	30	10	9	50	50	40	45	65	35	40	50	35	26	50	45		

Figura Anexo II 4. Matriz Origen-Destino TIEMPO DE RECORRIDO [min]

		TIEMPO [min]																					
DESTINO ml ORIGEN	CDIS	ACE RO	AT& T	ATL AS	DHL HA	DHL SU	E&Y	ERI CS	GE RD	GL OB	GR UP	GS K	HIR Cas	Mc Can	NES TLÉ	PW C	S. BO	S. BO	S. PLA	TRA NE	TUP PER	UNI LEV	UNI LEV
CDIS		64	34	49	80	113	170	84	61	68	95	165	80	107	137	130	70	185	120	49	90	90	146
ACEROS CORSA	27		49	68	76	126	175	97	75	83	115	170	90	112	132	140	90	170	125	70	105	105	154
AT&T	8	59		50	80	111	170	86	61	66	165	165	80	102	137	150	75	185	120	55	90	95	145
ATLAS	6	50	36		75	113	160	80	61	70	100	160	75	87	112	130	70	175	115	47	85	85	146
DHL HANGARES	35	64	66	78		137	175	98	90	95	105	140	65	92	132	140	90	148	125	70	100	100	170
DHL SUPPLY	22	63	46	67	90		165	108	47	64	95	160	80	92	112	140	75	185	120	55	90	95	137
E&Y	18	64	46	59	71	123		94	75	85	75	135	57	62	97	110	48	156	87	35	60	67	158
ERICSSON	18	58	46	59	71	127	158		75	80	100	160	80	87	122	128	75	165	115	55	90	95	158
GERDAU CORSA	22	69	48	67	90	105	165	103		66	100	165	80	92	117	140	75	185	120	55	90	95	136
GLOBAL	18	64	42	61	85	104	175	98	53		105	165	85	107	112	155	80	190	130	65	90	100	137
GRUPO MODELO	40	89	71	88	95	137	160	118	100	105		150	70	68	82	135	44	175	110	60	56	55	180
GSK	50	94	76	88	80	152	170	128	100	110	105		70	92	112	145	80	165	115	65	90	100	185
HIR Casa	35	79	56	73	67	137	152	108	85	90	90	129		77	107	124	60	152	98	49	80	80	170
McCann	30	79	61	73	85	132	150	103	85	90	61	140	61		82	124	40	160	98	47	50	52	170
NESTLÉ	60	119	86	103	115	157	185	128	100	110	85	160	100	92		160	75	200	135	75	85	85	195
PWC	22	64	50	65	73	125	139	92	75	80	80	133	59	64	102		52	148	92	37	65	69	158
S. BOSQUES	30	74	56	73	80	132	150	108	85	90	65	140	65	56	87	122		165	98	47	50	55	165
S. BOTURINI	40	62	61	78	57	137	160	98	85	95	90	133	59	77	112	122	70		110	60	80	85	170
S. PLAZA	20	64	44	61	71	123	137	96	70	78	73	131	55	58	92	112	44	154		33	56	63	156
TRANE COMPANY	20	64	44	61	75	119	139	96	70	78	75	133	55	62	97	114	48	156	88		58	59	154
TUPPERWAR	40	79	66	83	85	142	158	113	90	100	59	145	70	64	87	130	38	170	108	51		50	158
UNILEVER BOSQUES	35	79	61	78	85	137	154	108	90	95	55	140	65	56	82	128	37	165	102	47	48		165
UNILEVER TULTILÁN	18	62	42	63	85	99	160	98	45	59	95	155	75	87	112	135	70	180	115	51	80	90	

Figura Anexo II 5. Matriz de Tiempos de distribución (tiempo de traslado + tiempo de permanencia en el sitio)

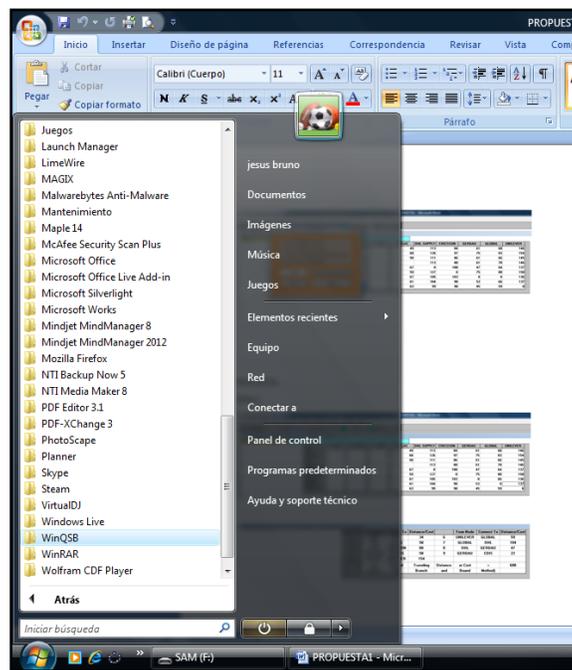
		DISTANCIA [km]																					
DESTINO km ORIGEN	CDIS	ACER OS CORSA	AT& T	ATLA S COPCO	DHL HAN GAR ES	DHL SUPP LY	E&Y	ERIC SSON	GER DAU CORSA	GLO BAL CAR D	GRU PO MOD ELO	GSK	HIR Casa	McC ann	NES TLÉ	PWC	S. BOS QUES	S. BOT URINI	S. PLAZ A	TRA NE COM PANY	TUPP ERW ARE	UNIL EVER BOS QUE	UNIL EVER TULT ITLÁ
CDIS		11	2.7	1.2	25.3	13.9	14.4	6.1	18.5	13.4	25.4	40.6	22.8	20.3	67.2	13.4	19.6	26.9	17	9.9	27	23	13.5
ACEROS CORSA	10.5		10.3	9.9	15.9	20.1	17.1	9	24.6	19.5	35.8	40.7	31.4	21.5	91.8	18	30.6	16.8	17.7	19.9	36.5	29.4	19.6
AT&T	2.7	10		3.3	22.6	12.8	16	6.5	17.4	12.3	28.2	42.4	26.1	23.1	84.5	21.3	22.3	28.7	17.1	14	28.3	24.2	12.4
ATLAS COPCO	1.2	9.9	2.8		24.8	13.5	12.2	5	17.6	12.9	27.6	38.6	22.2	19.2	72.6	12.9	19.1	18.3	14.9	9.4	25	21	13
DHL HANGARES	24.8	23.7	23.1	22.6		32.8	19.5	17.2	37.4	32.3	24.4	23.5	17.2	17.7	65.8	17.3	23.2	6.3	17.5	22.3	26.4	21	32.4
DHL SUPPLY	16.9	25.2	15.3	17.4	36.8		29.1	22.8	6.5	6.8	48.9	55.5	39.1	36.1	79.3	32.6	35.4	41.7	31.8	27.1	41.3	37.3	4.9
E&Y	14.4	20.2	17.1	12.2	19.5	25.4		11.4	30.7	25.7	13	27.9	12.6	7.3	54.4	4.1	7.7	14.1	2.5	5.5	13.7	9.5	25.7
ERICSSON	7.5	10	9.1	5.5	17.3	18.8	10.8		23.4	18.3	22.7	38.4	18.2	16.9	68	9.2	17.5	15.4	12.4	11.4	23.4	19.4	18.4
GERDAU CORSA	15.3	24.4	13.7	15.8	36	4.3	28.5	22		6.2	40	54.8	38.5	35.5	83	32	34.7	41.1	31.2	26.4	40.7	36.6	3.4
GLOBAL CARD	11.5	20.8	10	12.1	31.5	3	23.8	17.5	8.1		35.4	50.2	33.9	30.8	78.4	29.1	30.1	36.5	26.6	21.1	36	32	2.6
GRUPO MODELO	24.9	30.6	28	28	24.4	37.1	13.5	24.3	41.6	36.6		34	17.7	11.3	44.5	15.4	6.8	20.2	13.8	16.4	9.8	4.4	36.6
GSK	37.1	35.4	40.8	36.7	22	49.9	26	35.5	54.4	49.4	33.4		13.2	24.7	63.1	25.5	30.4	15.8	24.6	29.1	36.3	30.1	49.4
HIR Casa	24.3	34.7	26	23.5	18.4	35	11.1	18.6	39.6	34.5	18.6	15.7		9.8	60	10.6	15.5	12.2	9.8	14.3	20.6	15.2	35.1
McCann	22	26.4	23.7	19.5	20.2	32.7	9.2	20.1	37.3	32.2	7	29.8	13.6		48.4	11	5.7	16.1	9.4	12	9.1	3.7	32.3
NESTLÉ	68	73.8	69.7	63.8	66.3	80.8	55.5	68.8	83.6	80.3	45	64.9	59.7	52.9		57.3	50.3	62.2	55.8	59.4	53.6	48.2	79
PWC	15.1	17.9	18.8	12.6	17.3	27.9	3.2	9.2	32.4	27.4	14	27.1	10.8	7.3	55.4		9	8	3.3	6.5	15	10.8	27.4
S. BOSQUES	21.1	30.5	22.8	18.6	22.8	31.8	8.3	21.7	36.3	31.3	8.3	32.4	16.2	6	51	10.8		15.4	8.7	11.1	8.1	4.9	31.4
S. BOTURINI	20.5	16.4	19.8	17.8	9.1	29.6	13.2	14	34.1	29	19.3	18.7	9.4	12.6	60.8	6.8	18.2		12.4	12.6	21.4	16	29.1
S. PLAZA	15.2	24.6	16.9	12.8	16.9	25.9	2	15.9	30.5	25.4	12.2	26.5	10.3	7.1	53.7	5.4	7	12.8		5.2	12.9	8.8	25.5
TRANE COMPAN	12	22.5	13.7	10.3	20.3	23.5	3.9	10.7	28	22.3	15	29.9	13.6	10.5	56.5	8.8	9.8	16.1	6.2		12.9	8.8	23.3
TUPPERWARE	19.2	29.6	24.5	20.4	23.3	36.1	12.5	23.2	40.6	35.6	4.7	33	16.7	9.8	49.9	14.4	3.9	19.2	12.9	20.3		3.1	39.9
UNILEVER BOSQUE	22.8	27.1	24.5	20.4	20.8	33.6	10	20.7	38.1	33.1	3.3	30.5	14.2	7.3	45.5	11.8	3.2	15.3	10.3	12.9	6.3		43.3
UNILEVER TULTITLÁN	12.8	21.2	11.2	13.4	32.7	0.85	25	18.7	5	2.8	36.5	51.4	34.6	32.1	79.7	28.5	31.3	37.6	27.8	23	44.6	44.2	

Figura Anexo II 6. Matriz Origen-Destino DISTANCIA [km]

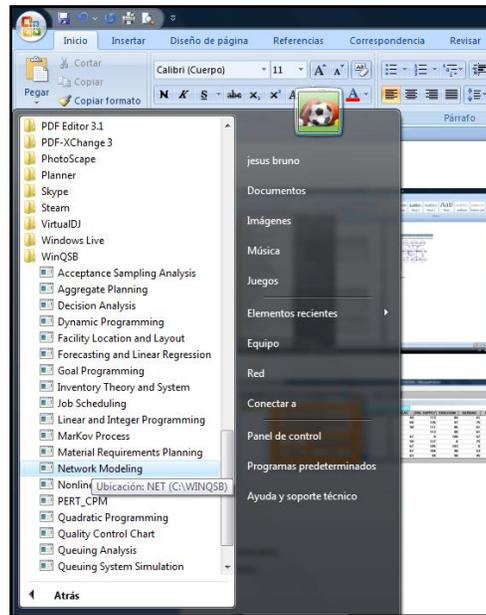
Procedimiento para el cálculo de rutas con WinQSB

Este fue el procedimiento que se siguió para definir a ruta de cada zona propuesta

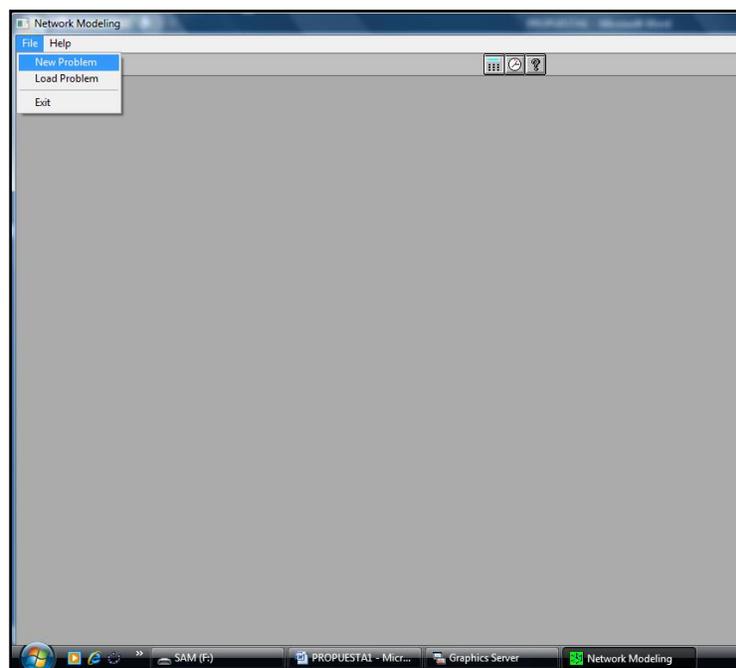
1. Abrir carpeta WinQSB



2. Seleccionar el apartado de Modelo de redes

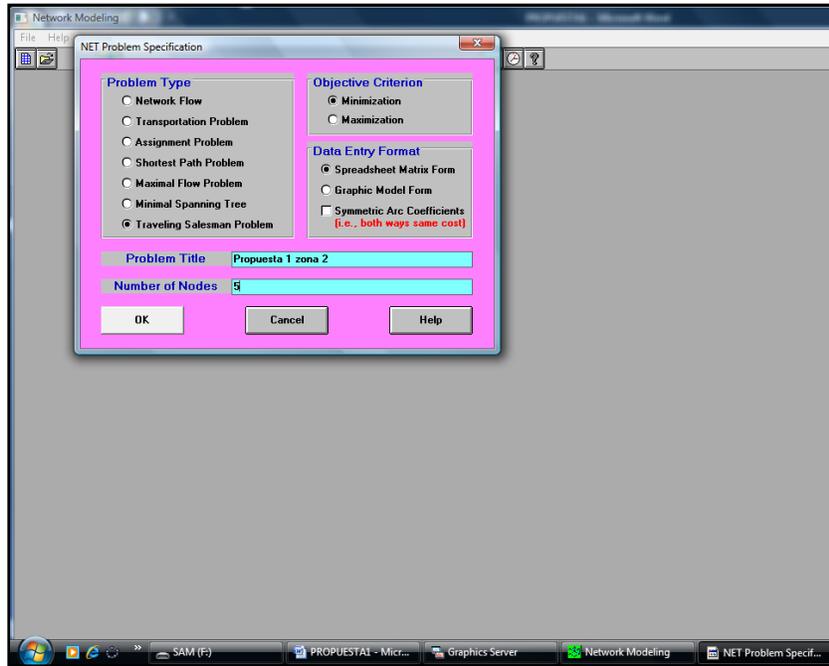


3. Abrir un Nuevo problema



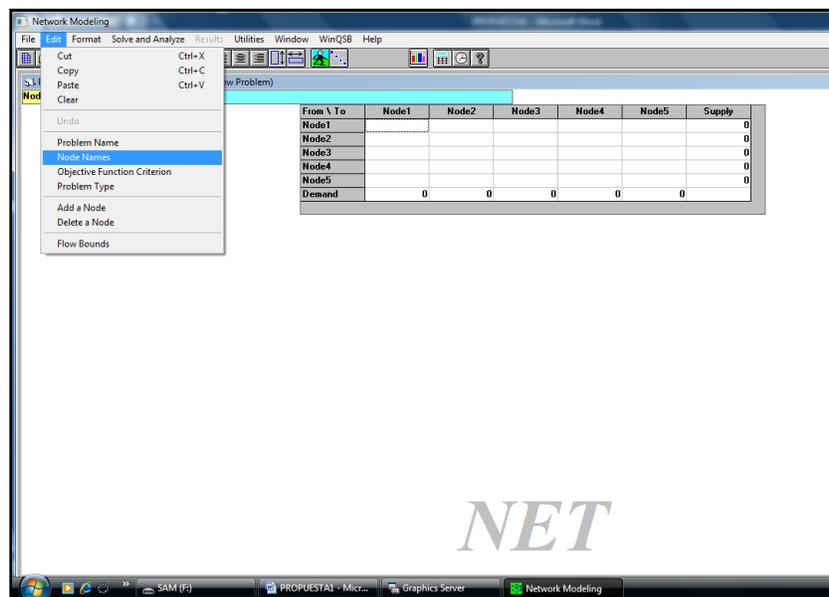
4. Dar las especificaciones

En este paso se debe seleccionar el tipo de problema. Para nuestro problema se seleccionó “Traveling Salesman Problem”, minimizar como objetivo y a entrada de datos en matriz. Después se agrega el título y el número de nodos que se van a introducir.



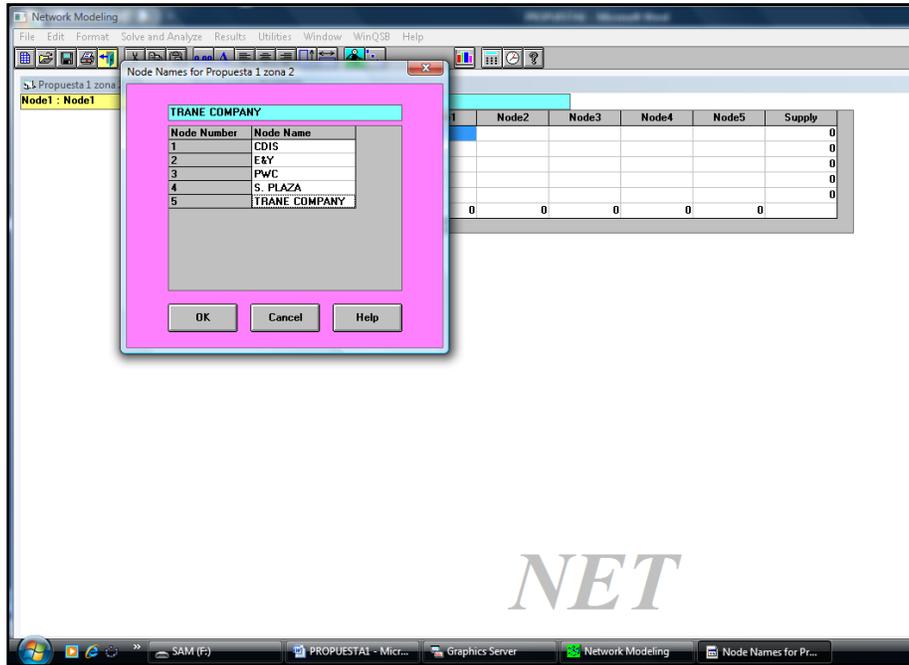
5. Asignar nombre a los nodos

Ir a la pestaña de Edit y al apartado de “Node Names”



6. Introducir nombres

Se despliega una tabla en donde se cambian los nombres de cada nodo, para mejor identificación.



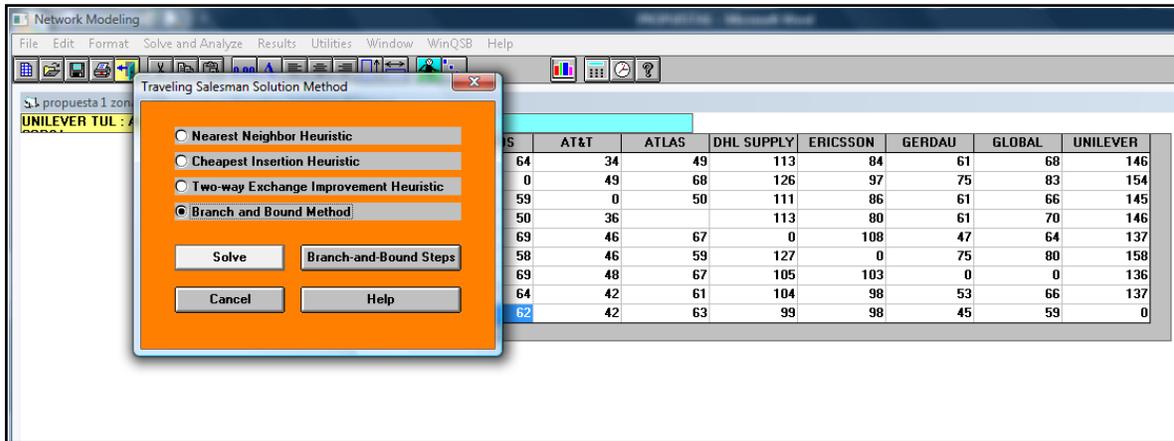
7. Ingresar los datos

Estos datos se sacaron de la matriz origen-destino de tiempo que se presentó con anterioridad.

From \ To	CDIS	ACEROS	AT&T	ATLAS	DHL SUPPLY	ERICSSON	GERDAU	GLOBAL	UNILEVER
CDIS	0	64	34	49	113	84	61	68	146
ACEROS	27	0	49	68	126	97	75	83	154
AT&T	8	59	0	50	111	86	61	66	145
ATLAS	6	50	36		113	80	61	70	146
DHL SUPPLY	22	69	46	67	0	108	47	64	137
ERICSSON	18	58	46	59	127	0	75	80	158
GERDAU	22	69	48	67	105	103	0	66	136
GLOBAL	18	64	42	61	104	98	53	0	137
UNILEVER	18	62	42	63	99	98	45	59	0

8. Resolver y analizar el problema

En la pestaña del mismo nombre se selecciona el método, para todos los casos se elige "Branch and Bound" ya que se requiere regresar al nodo inicial.



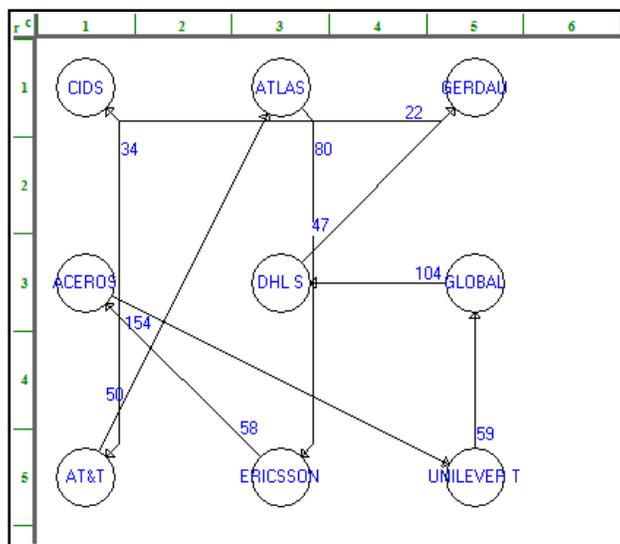
9. Tabla de resultados

En la tabla se incluye el orden de recorrido y el tiempo total mínimo.

Solution for propuesta 1 zona 1: Minimization (Traveling Salesman Problem)							
02-05-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	AT&T	34	6	UNILEVER	GLOBAL	59
2	AT&T	ATLAS	50	7	GLOBAL	DHL	104
3	ATLAS	ERICSSON	80	8	DHL	GERDAU	47
4	ERICSSON	ACEROS	58	9	GERDAU	CDIS	22
5	ACEROS	UNILEVER	154				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	608
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

10. Diagrama

Se puede visualizar el Diagrama dando clic en el ícono



Resultado de los cálculos utilizando WinQSB

Zona A

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

propuesta 1 zona 1: Minimization (Traveling Salesman Problem)

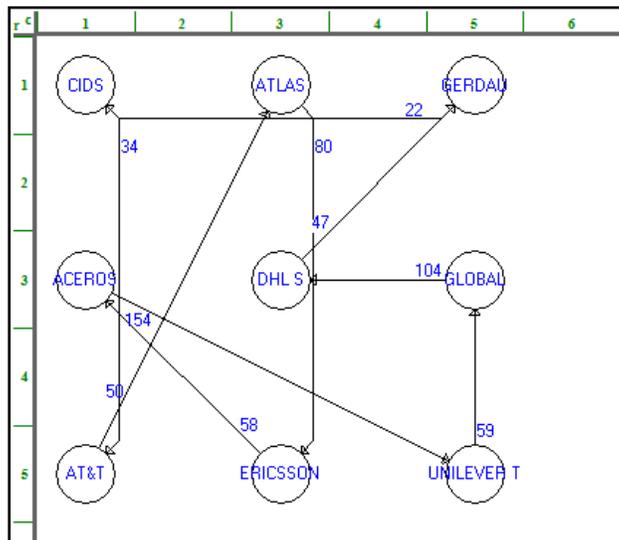
GLOBAL CARD : UNILEVER 137

From \ To	CDIS	ACEROS	AT&T	ATLAS	DHL SUPPLY	ERICSSON	GERDAU	GLOBAL	UNILEVER
CDIS	0	64	34	49	113	84	61	68	146
ACEROS	27	0	49	68	126	97	75	83	154
AT&T	8	59	0	50	111	86	61	66	145
ATLAS	6	50	36	0	113	80	61	70	146
DHL SUPPLY	22	69	46	67	0	108	47	64	137
ERICSSON	18	58	46	59	127	0	75	80	158
GERDAU	22	69	48	67	105	103	0	66	136
GLOBAL	18	64	42	61	104	98	53	0	137
UNILEVER	18	62	42	63	99	98	45	59	0

Traveling Salesman Problem)

02-05-2017

	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	AT&T	34	6	UNILEVER	GLOBAL	59
2	AT&T	ATLAS	50	7	GLOBAL	DHL	104
3	ATLAS	ERICSSON	80	8	DHL	GERDAU	47
4	ERICSSON	ACEROS	58	9	GERDAU	CDIS	22
5	ACEROS	UNILEVER	154				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	608
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	



Zona B

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

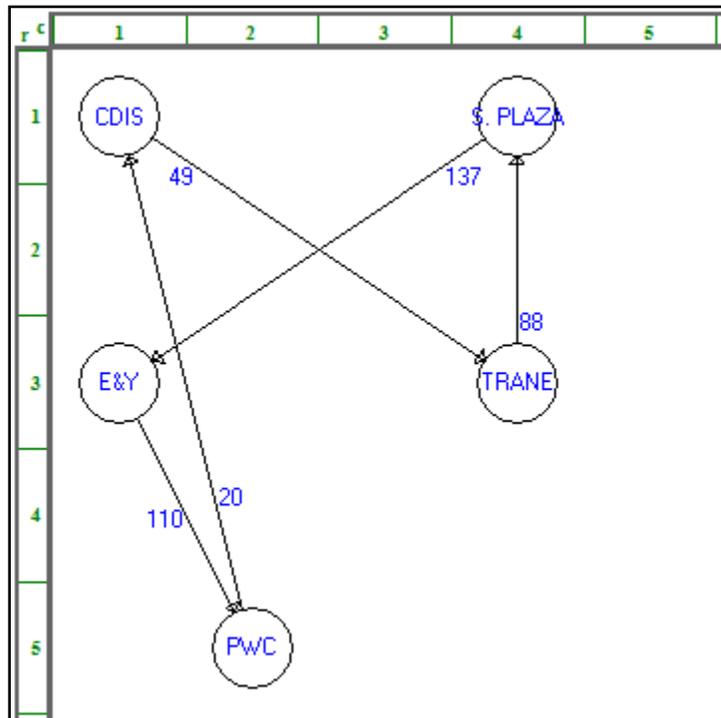
Propuesta 1 Zona 2: Minimization (Traveling Salesman Problem)

CDIS : EY 170

From \ To	CDIS	E&Y	PWC	S. PLAZA	TRANE
CDIS	0	170	130	120	49
E&Y	18	0	110	87	35
PWC	20	139	0	92	37
S. PLAZA	20	137	112	0	33
TRANE	20	139	114	88	0

man Problem)

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost	From Node	Connect To	Distance/Cost	
1	CDIS	TRANE	49	4	E&Y	PWC	
2	TRANE	S. PLAZA	88	5	PWC	CDIS	
3	S. PLAZA	E&Y	137				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	404
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	



Zona C

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

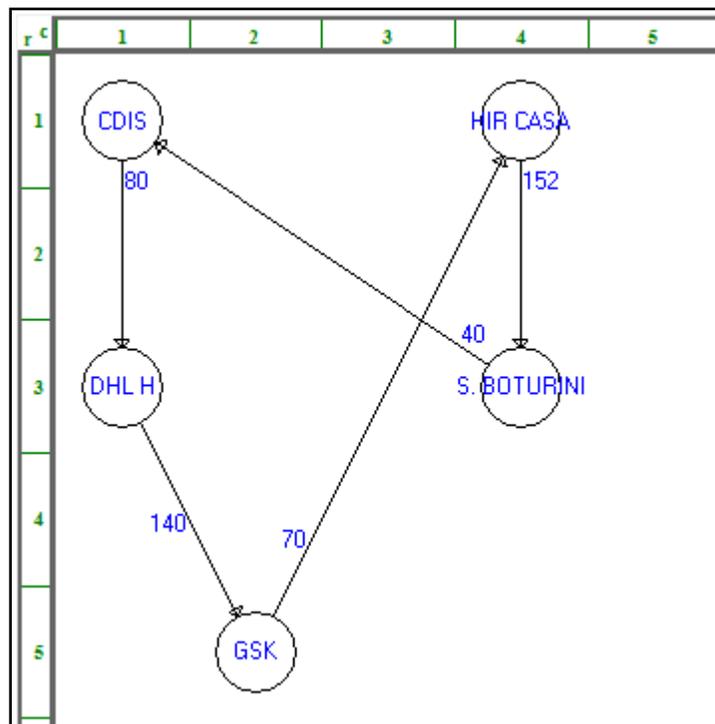
PROPUESTA 1 ZONA 3: Minimization (Traveling Salesman Problem)

S. BOTURINI : S. BOTURINI 0

From \ To	CDIS	DHL	GSK	HIR CASA	S. BOTURINI
CDIS	0	80	165	80	185
DHL	35	0	140	65	148
GSK	50	80	0	70	165
HIR CASA	35	67	129	0	152
S. BOTURINI	40	57	133	59	0

Traveling Salesman Problem)

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost	From Node	Connect To	Distance/Cost	
1	CDIS	DHL	80	4	HIR CASA	152	
2	DHL	GSK	140	5	S.	40	
3	GSK	HIR CASA	70				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	482



Zona D

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

PROPUESTA 1- ZONA 4: Minimization (Traveling Salesman Problem)

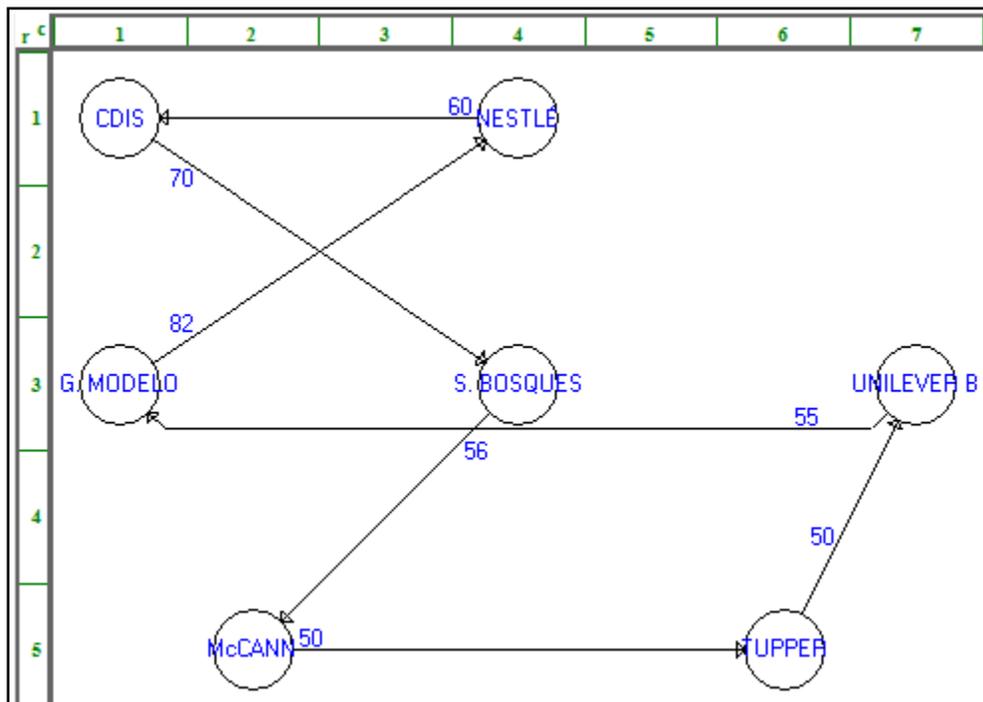
UNILEVER BOS : CDIS 35

From \ To	CDIS	GRUPO	McCANN	NESTLÉ	S.BOSQUES	TUPPER	UNILEVER
CDIS	0	95	107	137	70	90	90
GRUPO	40	0	68	82	44	56	55
McCANN	30	61	0	82	40	50	52
NESTLÉ	60	85	92	0	75	85	85
S.BOSQUES	30	65	56	87	0	50	55
TUPPER	40	59	64	87	38	0	50
UNILEVER	35	55	56	82	37	48	0

02-06-2017

Salesman Problem

	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	S.BOSQUES	70	5	UNILEVER	GRUPO	55
2	S.BOSQUES	McCANN	56	6	GRUPO	NESTLÉ	82
3	McCANN	TUPPER	50	7	NESTLÉ	CDIS	60
4	TUPPER	UNILEVER	50				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	423
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	



Zona E

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

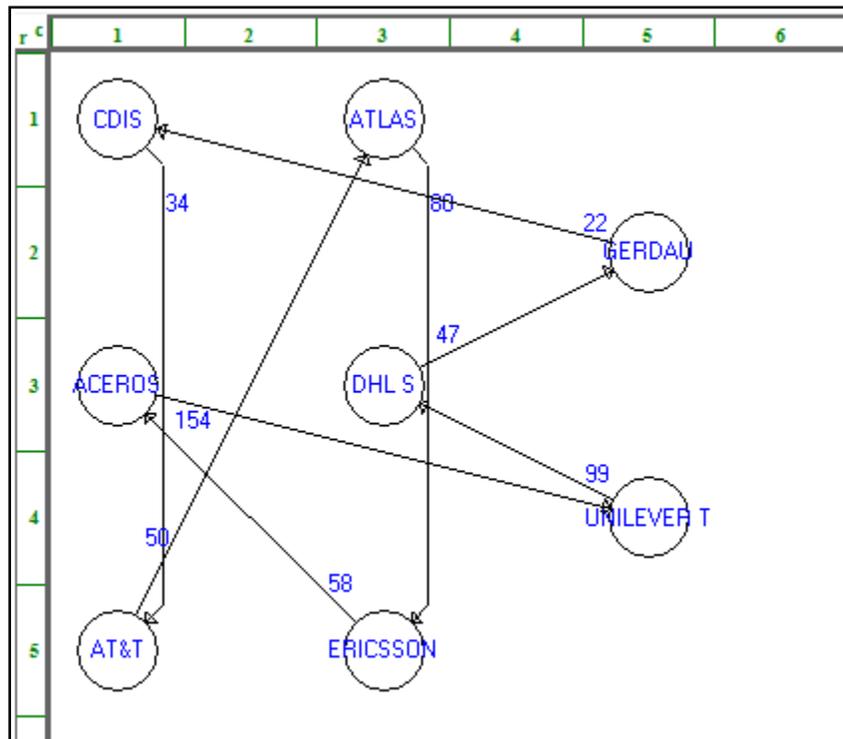
PROPUESTA 2-ZONA 1: Minimization (Traveling Salesman Problem)

UNILEVER TUL : UNILEVER 0

From \ To	CDIS	ACEROS	AT&T	ATLAS	DHL SUPPLY	ERICSSON	GERDAU	UNILEVER
CDIS	0	64	34	49	113	84	61	146
ACEROS	27	0	49	68	126	97	75	154
AT&T	8	59	0	50	111	86	61	145
ATLAS	6	50	36	0	113	80	61	146
DHL SUPPLY	22	69	46	67	0	108	47	137
ERICSSON	18	58	46	59	127	0	75	158
GERDAU	22	69	48	67	105	103	0	136
UNILEVER	18	62	42	63	99	98	45	0

Salesman Problem)

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	AT&T	34	5	ACEROS	UNILEVER	154
2	AT&T	ATLAS	50	6	UNILEVER	DHL	99
3	ATLAS	ERICSSON	80	7	DHL	GERDAU	47
4	ERICSSON	ACEROS	58	8	GERDAU	CDIS	22
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	544
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	



Zona F

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

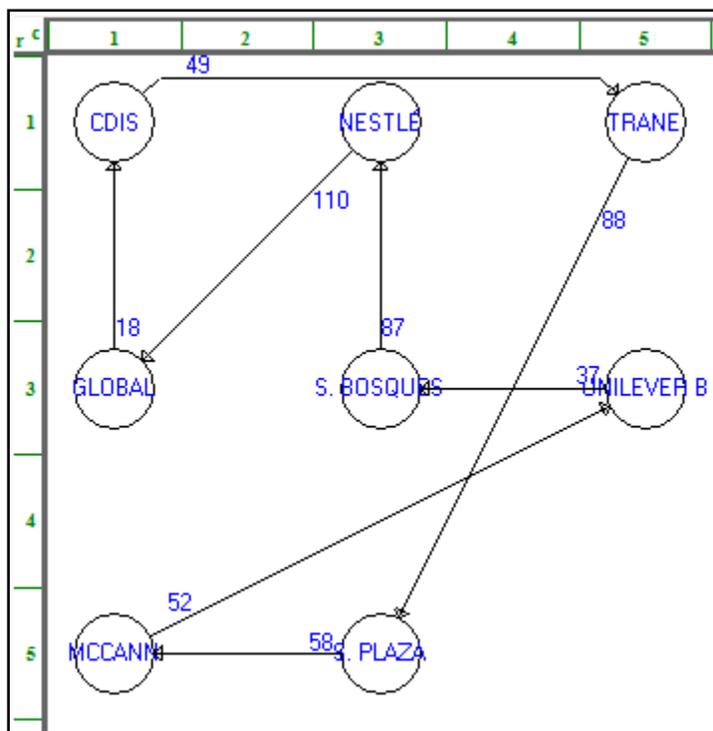
PROPUESTA 2-ZONA 2: Minimization (Traveling Salesman Problem)

UNILEVER BOS : UNILEVER 0

From \ To	CDIS	GLOBAL	MCCANN	NESTLÉ	S.BOSQUES	S.PLAZA	TRANE	UNILEVER
CDIS	0	68	107	137	70	120	49	90
GLOBAL	18	0	107	112	80	130	65	100
MCCANN	30	90	0	82	40	98	47	52
NESTLÉ	60	110	92	0	75	135	75	85
S.BOSQUES	30	90	56	87	0	98	47	55
S.PLAZA	20	78	58	92	44	0	33	63
TRANE	20	78	62	97	48	88	0	59
UNILEVER	35	95	56	82	37	102	47	0

g Salesman Problem)

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost	From Node	Connect To	Distance/Cost	
1	CDIS	TRANE	49	5	UNILEVER	S.BOSQUES	
2	TRANE	S.PLAZA	88	6	S.BOSQUES	NESTLÉ	
3	S.PLAZA	MCCANN	58	7	NESTLÉ	GLOBAL	
4	MCCANN	UNILEVER	52	8	GLOBAL	CDIS	
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	499



Zona G

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

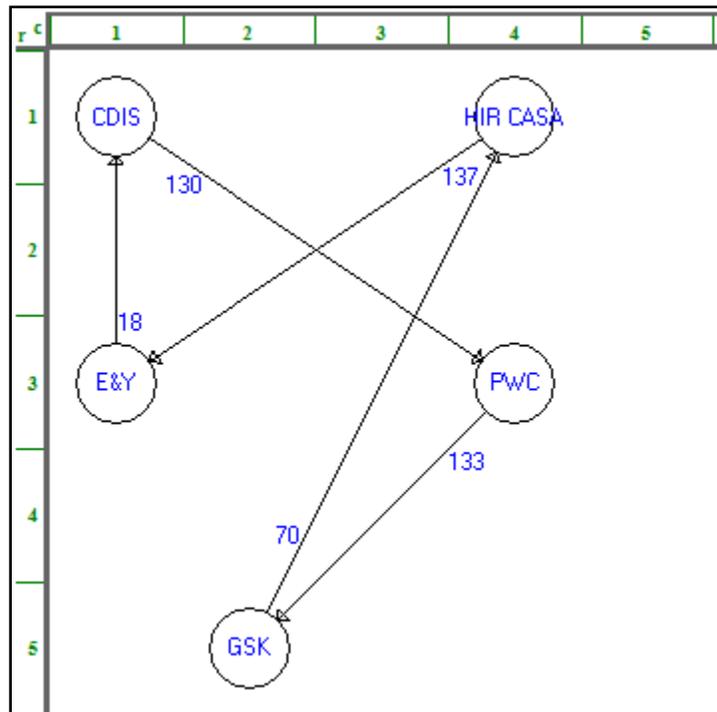
PROPUESTA 2-ZONA 3: Minimization (Traveling Salesman Problem)

PWC : PWC 0

From \ To	CDIS	E&Y	GSK	HIR CASA	PWC
CDIS	0	170	165	80	130
E&Y	18	170	135	57	110
GSK	50	152	0	70	145
HIR CASA	35	137	129	0	124
PWC	22	125	133	59	0

Salesman Problem)

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost	From Node	Connect To	Distance/Cost	
1	CDIS	PWC	130	4	HIR CASA	E&Y	137
2	PWC	GSK	133	5	E&Y	CDIS	18
3	GSK	HIR CASA	70				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	488
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	



Zona H

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

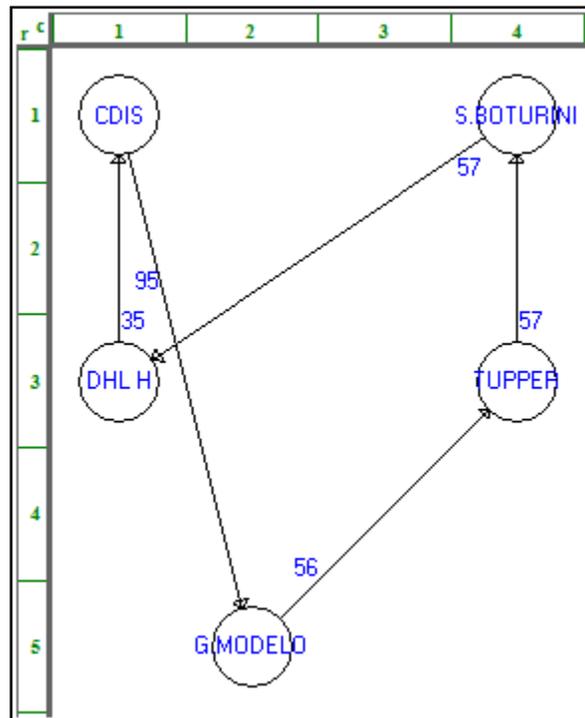
PROPUESTA 2-ZONA 4: Minimization (Traveling Salesman Problem)

TUPPERWARE : 0

From \ To	CDIS	DHL	GRUPO	S.BOTURINI	TUPPERWARE
CDIS	0	80	95	185	90
DHL	35	0	105	148	100
GRUPO	40	95	0	175	56
S.BOTURINI	40	57	90	0	80
TUPPERWAR	40	85	59	170	0

Traveling Salesman Problem)

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	GRUPO	95	4	S.BOTURINI	DHL	57
2	GRUPO	UPPERWAR	56	5	DHL	CDIS	35
3	UPPERWAR	S.BOTURINI	170				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	413
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	



Zona I

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

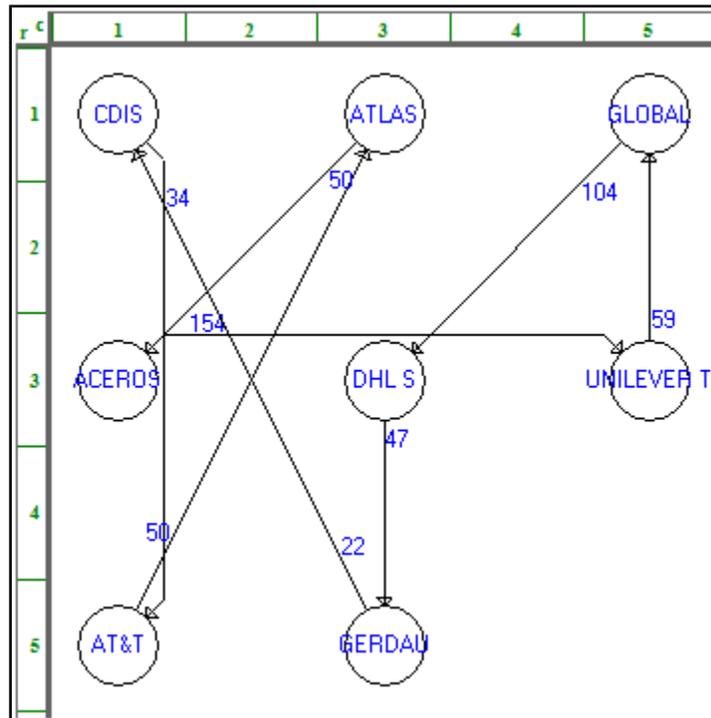
PROPUESTA 3-ZONA 1: Minimization (Traveling Salesman Problem)

UNILEVER TUL : UNILEVER 0

From \ To	CDIS	ACEROS	AT&T	ATLAS	DHL SUPPLY	GERDAU	GLOBAL	UNILEVER
CDIS	0	64	34	49	113	61	68	146
ACEROS	27	0	49	68	126	75	83	154
AT&T	8	59	0	50	111	61	66	145
ATLAS	6	50	36	0	113	61	70	146
DHL SUPPLY	22	69	46	67	0	47	64	137
GERDAU	22	69	48	67	105	0	66	136
GLOBAL	18	64	42	61	104	53	0	137
UNILEVER	18	62	42	63	99	45	59	0

Salesman Problem

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost	From Node	Connect To	Distance/Cost	
1	CDIS	AT&T	34	5	UNILEVER	GLOBAL	
2	AT&T	ATLAS	50	6	GLOBAL	DHL	
3	ATLAS	ACEROS	50	7	DHL	GERDAU	
4	ACEROS	UNILEVER	154	8	GERDAU	CDIS	
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	520



Zona J

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

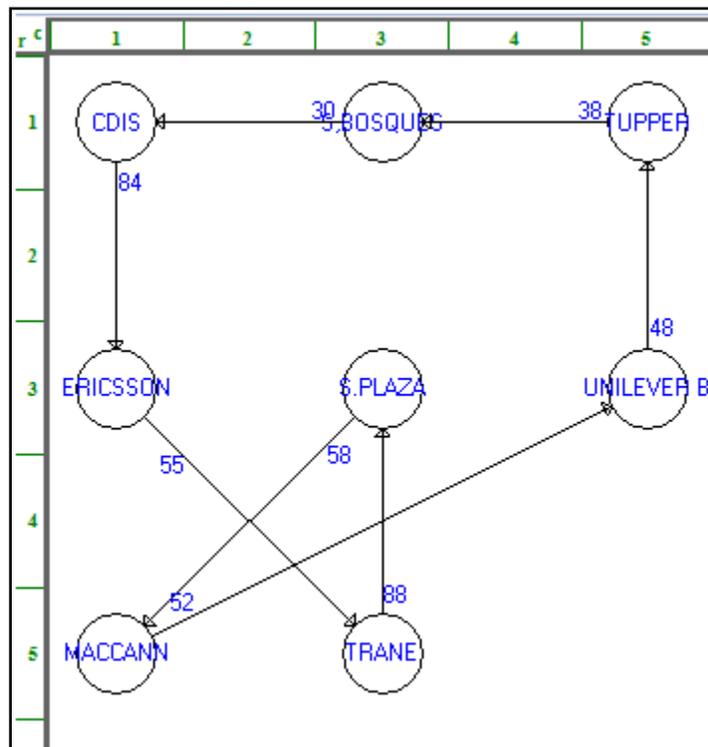
PROPUESTA 3- ZONA 2: Minimization (Traveling Salesman Problem)

S.PLAZA : MCCANN 58

From \ To	CDIS	ERICSSON	MCCANN	S.BOSQUES	S.PLAZA	TANE	TUPPER	UNILEVER
CDIS	0	84	107	70	120	49	90	90
ERICSSON	18	0	87	75	115	55	90	95
MCCANN	30	103	0	40	98	47	50	52
S.BOSQUES	30	108	56	0	98	47	50	55
S.PLAZA	20	96	58	44	0	33	56	63
TANE	20	96	62	48	88	0	58	59
TUPPER	40	113	64	38	108	51	0	50
UNILEVER	35	108	56	37	102	47	48	0

Traveling Salesman Problem)

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost	From Node	Connect To	Distance/Cost	
1	CDIS	ERICSSON	84	5	MCCANN	UNILEVER	
2	ERICSSON	TANE	55	6	UNILEVER	TUPPER	
3	TANE	S.PLAZA	88	7	TUPPER	S.BOSQUES	
4	S.PLAZA	MCCANN	58	8	S.BOSQUES	CDIS	
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	453



Zona K

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

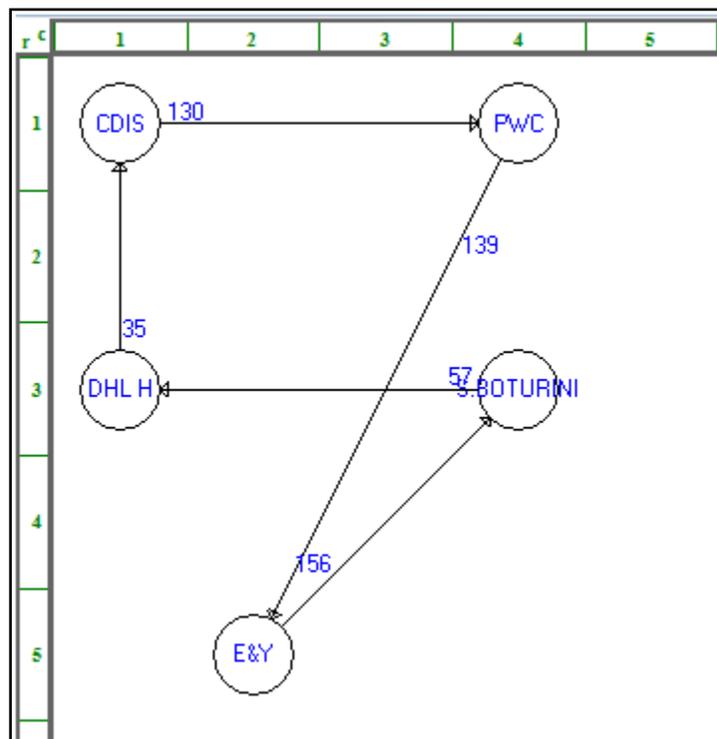
POPUESTA 3- ZONA 3: Minimization (Traveling Salesman Problem)

S.BOTURINI : S.BOTURINI 0

From \ To	CDIS	DHL	E&Y	PwC	S.BOTURINI
CDIS	0	80	170	130	185
DHL	35	0	175	140	148
E&Y	18	71	0	110	156
PwC	22	73	139	0	148
S.BOTURINI	40	57	160	122	0

Traveling Salesman Problem)

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	CDIS	PwC	130	4	S.BOTURINI	DHL	57
2	PwC	E&Y	139	5	DHL	CDIS	35
3	E&Y	S.BOTURINI	156				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	517
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	



Zona L

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

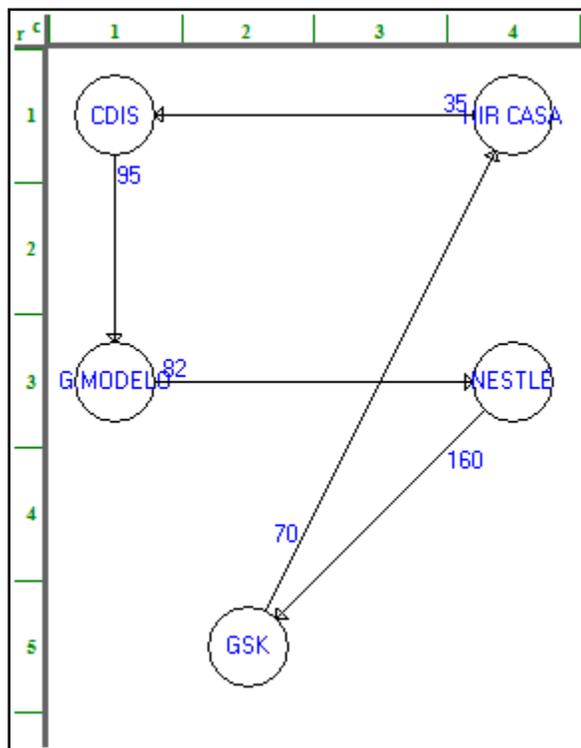
PROPUESTA 3-ZONA 4: Minimization (Traveling Salesman Problem)

NESTLÉ : NESTLÉ 0

From \ To	CDIS	GRUPO	GSK	HIR CASA	NESTLÉ
CDIS	0	95	165	80	137
GRUPO	40	0	150	70	82
GSK	50	105	0	70	112
HIR CASA	35	90	129	0	107
NESTLÉ	60	85	160	100	0

Salesman Problem)

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost	From Node	Connect To	Distance/Cost	
1	CDIS	GRUPO	95	4	GSK	70	
2	GRUPO	NESTLÉ	82	5	HIR CASA	35	
3	NESTLÉ	GSK	160				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	442



Zona M

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

0.00

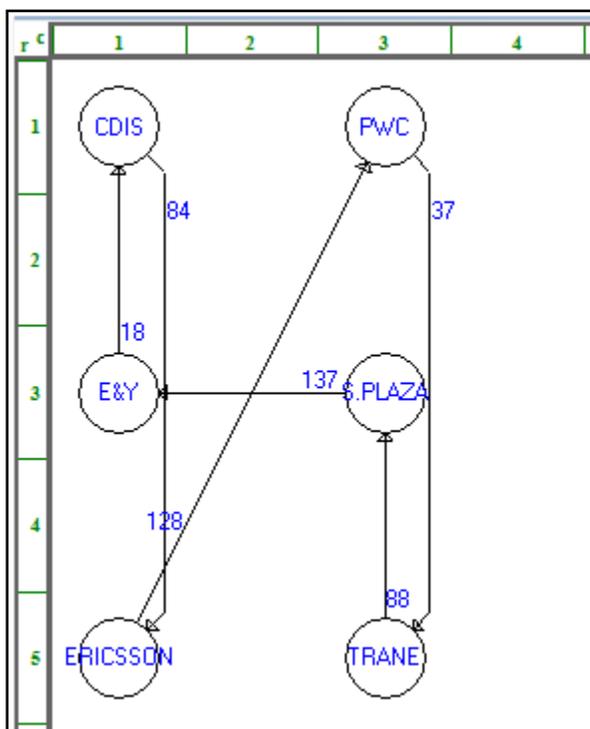
PROPUESTA 4- ZONA 2: Minimization (Traveling Salesman Problem)

TRANE : TRANE 0

From \ To	CDIS	E&Y	ERICSSON	PWC	PLAZA	TRANE
CDIS	0	170	84	130	120	49
E&Y	18	0	94	110	87	35
ERICSSON	18	158	0	128	115	55
PWC	22	139	92	0	92	37
PLAZA	20	137	96	112	0	33
TRANE	20	139	96	114	88	0

g Salesman Problem)

02-06-2017	From Node	Connect To	Distance/Cost	From Node	Connect To	Distance/Cost	
1	CDIS	ERICSSON	84	4	TRANE	PLAZA	88
2	ERICSSON	PWC	128	5	PLAZA	E&Y	137
3	PWC	TRANE	37	6	E&Y	CDIS	18
Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	492	
(Result	from	Branch	and	Bound	Method)		

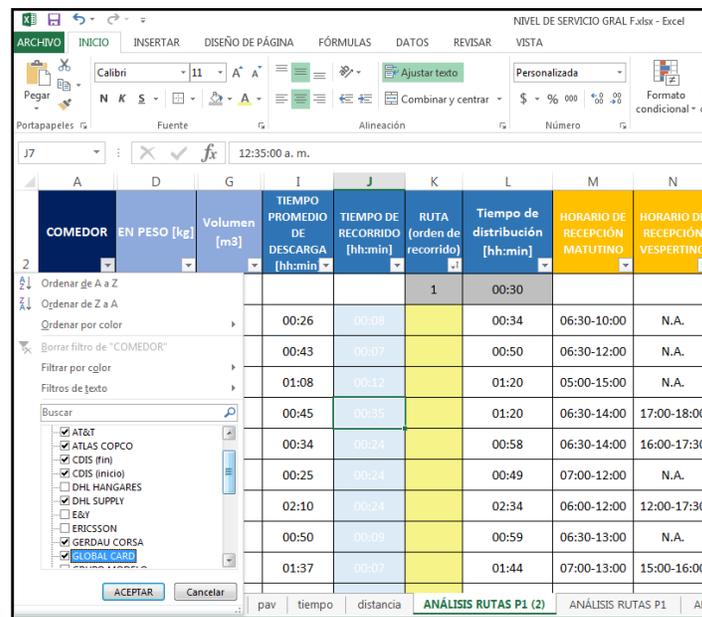


Evaluación de restricciones

Para realizar el análisis de las zonas se creó una hoja de Excel que contiene fórmulas y semáforos que permiten visualizar los resultados de manera inmediata. El archivo se usa después de plantear la zonificación y en el siguiente orden:

- Paso 1

Filtrar los comedores involucrados en la zona



COMEDOR	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	TIEMPO PROMEDIO DE DESCARGA [hh:min]	TIEMPO DE RECORRIDO [hh:min]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO
Ordenar de A a Z					1	00:30		
Ordenar de Z a A			00:26	00:08		00:34	06:30-10:00	N.A.
Ordenar por color			00:43	00:07		00:50	06:30-12:00	N.A.
Borrar filtro de "COMEDOR"			01:08	00:12		01:20	05:00-15:00	N.A.
Filtrar por color			00:45	00:35		01:20	06:30-14:00	17:00-18:00
Filtros de texto			00:34	00:24		00:58	06:30-14:00	16:00-17:30
Buscar			00:25	00:24		00:49	07:00-12:00	N.A.
<input checked="" type="checkbox"/> AT&T			02:10	00:24		02:34	06:00-12:00	12:00-17:30
<input checked="" type="checkbox"/> ATLAS COPCO			00:50	00:09		00:59	06:30-13:00	N.A.
<input checked="" type="checkbox"/> CDIS (fin)			01:37	00:07		01:44	07:00-13:00	15:00-16:00
<input type="checkbox"/> CDIS (inicio)								
<input type="checkbox"/> DHL HANGARES								
<input checked="" type="checkbox"/> DHL SUPPLY								
<input type="checkbox"/> E&Y								
<input type="checkbox"/> ERICSSON								
<input checked="" type="checkbox"/> GERDAU CORSA								
<input checked="" type="checkbox"/> GLOBAL GARD								

Figura Anexo II 7. Seleccionar los comedores a evaluar

- Paso 2

La restricción de capacidad se evalúa inmediatamente (en caso de realizar otro análisis y obtener datos de capacidad diferentes, esta sección debe actualizarse con las cantidades recientes).

	A	D	G
1		DEMANDA SEMANAL	
2	COMEDOR	EN PESO [kg]	Volumen [m3]
3	CDIS (inicio)		
4	AT&T	319.5	0.8
5	ATLAS COPCO	359.775	0.7
8	ACEROS CORSA	424.53	0.9
10	UNILEVER TULTITLÁN	1724.445	3.5
11	GLOBAL CARD	1095.075	2.2
12	DHL SUPPLY	806.895	1.7
25	GERDAU CORSA	609.12	1.3
26	CDIS (fin)		
31	Total general	5339.34	11.1
32		RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD	

Figura Anexo II 8. Evaluación de la capacidad

- Paso 3

Hacer uso de WinQSB, para esto se debe consultar la matriz de Tiempo de Distribución (Presentada anteriormente) para ingresar los datos en el sistema, tal como se indicó en ese apartado. Esos datos pueden cambiar si se realiza una iteración más real en Google Maps, pero es importante reiterar que para un mejor resultado a ese tiempo consultado en Maps se le debe agregar el tiempo de descarga o de permanencia en el sitio.

- Paso 4

Para realizar la evaluación del tiempo de la jornada laboral se debe colocar el orden de recorrido que arrojó WinQSB (ordenarlo de menor a mayor), tomando en cuenta que el CDIS siempre tendrá el número 1 y el último. Además debe agregarse el tiempo de distribución, tal como se presenta en la tabla de resultados que arroja el programa. El tiempo de distribución

	A	D	G	I	J	K	L	
1	DEMANDA SEMANAL					MODELO DE REDES WinQSB		
2	COMEDOR	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	TIEMPO PROMEDIO DE DESCARGA [hh:min]	TIEMPO DE RECORRIDO [hh:min]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HC R M
3	CDIS (inicio)					1	00:30	
4	AT&T	319.5	0.8	00:26	00:08	2	00:34	06
5	ATLAS COPCO	359.775	0.7	00:43	00:07	3	00:50	06
8	ACEROS CORSA	424.53	0.9	00:34	00:24	4	00:58	06
10	UNILEVER TULTITLÁN	1724.445	3.5	02:10	00:24	5	02:34	06
11	GLOBAL CARD	1095.075	2.2	00:50	00:09	6	00:59	06
12	DHL SUPPLY	806.895	1.7	01:37	00:07	7	01:44	07
25	GERDAU CORSA	609.12	1.3	00:35	00:12	8	00:47	05
26	CDIS (fin)				01:00	9	01:00	
31	Total general	5339.34	11.1				09:56	
32	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD					RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL		
33								

Figura Anexo II 9. Ingresar los resultados obtenidos con WinQSB

- Paso 5

Después de ingresar los datos se indicará el tiempo total de recorrido y se llenará la columna de tiempo de traslado.

	A	D	G	I	J	K	L
1	DEMANDA SEMANAL					MODELO DE REDES WinOSB	
2	COMEDOR	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	TIEMPO PROMEDIO DE DESCARGA [hh:min]	TIEMPO DE TRASLADO [hh:min]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]
3	CDIS (inicio)					1	00:30
4	AT&T	319.5	0.8	00:26	00:08	2	00:34
5	ATLAS COPCO	359.775	0.7	00:43	00:07	3	00:50
8	ACEROS CORSA	424.53	0.9	00:34	00:24	4	00:58
10	UNILEVER TULTITLÁN	1724.445	3.5	02:10	00:24	5	02:34
11	GLOBAL CARD	1095.075	2.2	00:50	00:09	6	00:59
12	DHL SUPPLY	806.895	1.7	01:37	00:07	7	01:44
25	GERDAU CORSA	609.12	1.3	00:35	00:12	8	00:47
26	CDIS (fin)				01:00	9	01:00
31	Total general	5339.34	11.1				09:56
32		RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD					RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL
33							

Figura Anexo II 10. Resultado del tiempo de distribución y tiempo de traslado

- Paso 6

Para verificar la restricción en los horarios se debe formular lo siguiente:

1. Sumar la hora de salida del sitio anterior más el tiempo de traslado para obtener la hora de arribo al sitio.

		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO			
TIEMPO DE TRASLADO [hh:min]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]	
	1	00:30			06:00	06:30	
00:08	2	00:34	06:30-10:00	N.A.	=P3+I4		
00:07	3	00:50	06:30-12:00	N.A.			

Figura Anexo II 11. Calcular la hora de arribo al sitio

2. Sumar la hora de arribo al sitio más el tiempo promedio de descarga para obtener la hora de salida del comedor.

		MODELO DE REDES WinQSB		HORARIO DE ACCESO			
TIEMPO PROMEDIO DE DESCARGA [hh:min]	TIEMPO DE TRASLADO [hh:min]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]
		1	00:30			06:00	06:30
00:26	00:08	2	00:34	06:30-10:00	N.A.	06:38	=O4+I4
00:43	00:07	3	00:50	06:30-12:00	N.A.		

Figura Anexo II 12. Calcular la hora de salida

3. Repetir el proceso para los demás comedores
En el caso de la Hora de Salida se puede jalar la fórmula para el resto de la columna, pero en la Hora de arribo si se debe cerciorar de que la fórmula esté correcta

- Paso 7

Realizar la comparación entre los horarios establecidos Vs los horarios calculados

M	N	O	P
HORARIO DE ACCESO			
HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO ▼	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO ▼	Hora de arribo al sitio [hh:min]▼	Hora de salida del sitio [hh:min]▼
		06:00	06:30
06:30-10:00	N.A.	06:38	07:04
06:30-12:00	N.A.	07:11	07:54
06:30-14:00	16:00-17:30	08:18	08:52
06:00-12:00	12:00-17:30	09:16	11:26
06:30-13:00	N.A.	11:35	12:25
07:00-13:00	15:00-16:00	12:32	14:09
05:30-12:00	12:00-17:00	14:21	14:56
		RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES	

Figura Anexo II 13. Evaluar la restricción de los horarios

- Paso 8

Llenar la columna de distancia, los datos se obtienen de la matriz obtenida gracias Google Maps (estos datos también pueden cambiar y ser consultados directamente de esta herramienta, igual que el tiempo de traslado).

El costo lo arrojará automáticamente

Obtenido de Google Maps	
DISTANCIA [KM]	COSTO DE TRASLADO
2.7	\$ 10.88
3.3	\$ 13.30
10	\$ 40.31
19.6	\$ 79.00
2.8	\$ 11.29
3	\$ 12.09
6.5	\$ 26.20
15.3	\$ 61.67
63.2	\$ 254.74

Figura Anexo II 14. Costo de traslado

- Paso 9

Si en el cálculo del tiempo de recorrido el resultado excede de las 9 horas habrá que contar el tiempo extra (el minuto 9:01 ya cuenta como una hora más) y colocarlo en la celda correspondiente para que lo sume y nos de un costo total. La tabla de datos de interés se usó para obtener los costos, los valores pueden ser modificados si así se requiere.

L	M	N	O	P	Q	R	S	T
TIPO DE REDES MinQSB	HORARIO DE ACCESO		Obtenido de Google Maps					
Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]	Hora de salida del sitio [hh:min]	DISTANCIA [KM]	COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas extras generac	COSTO TOTAL (traslado + horas extra)
00:30			06:00	06:30			1	
00:34	06:30-10:00	N.A.	06:38	07:04	2.7	\$ 10.88		
00:50	06:30-12:00	N.A.	07:11	07:54	3.3	\$ 13.30		
00:58	06:30-14:00	16:00-17:30	08:18	08:52	10	\$ 40.31		
02:34	06:00-12:00	12:00-17:30	09:16	11:26	19.6	\$ 79.00		
00:59	06:30-13:00	N.A.	11:35	12:25	2.8	\$ 11.29		
01:44	07:00-13:00	15:00-16:00	12:32	14:09	3	\$ 12.09		
00:47	05:30-12:00	12:00-17:00	14:21	14:56	6.5	\$ 26.20		
01:00					15.3	\$ 61.67		
09:56					63.2	\$ 254.74	\$ 190.00	\$ 444.74
RESTRICIÓN DE TIEMPO A JORNADA LABORAL			RESTRICCION DE HORARIO EN LOS COMEDORES					

Figura Anexo II 15. Costo por horas extra y Costo total

DATOS DE INTERÉS	
Precio del diésel	\$ 17.05
Rendimiento [km/l]	4.23
Pago de hora extra (chofer ayudante)	\$ 190.00

Figura Anexo II 16. Tabla de datos para el cálculo de costos

Estos son los pasos para efectuar la evaluación de las zonas, en la siguiente imagen se muestra los campos que deben llenarse para obtener los resultados y las especificaciones

COMEDOR	DEMANDA SEMANAL		MODELO DE REDES WinQSB			HORARIO DE ACCESO		Obtenido de Google Maps		COSTO DE TRASLADO	Costo por Horas extras generad	COSTO TOTAL (traslado + horas ext)		
	EN PESO [kg]	Volumen [m3]	TIEMPO PROMEDIO DE DESCARGA [hh:min]	TIEMPO DE TRASLADO [hh:min]	RUTA (orden de recorrido)	Tiempo de distribución [hh:min]	HORARIO DE RECEPCIÓN MATUTINO	HORARIO DE RECEPCIÓN VESPERTINO	Hora de arribo al sitio [hh:min]				Hora de salida del sitio [hh:min]	DISTANCIA [KM]
CDIS (inicio)					1	00:30			06:00	06:30		1		
DHL HANGARES	802.305	1.7	00:45	00:49		01:34	06:30-14:00	17:00-18:00	=PE+7	10:48	\$ 101.98			
GSK	1246.221	2.6	01:45	#####		00:00	06:00-13:00	N.A.			\$ 94.72			
HIR Casa	205.2	0.5	00:35	#####		00:00	07:00-12:00	N.A.			\$ 53.21			
S. BOTURINI	1891.755	3.8	01:10	#####		00:00	06:30-13:00	N.A.			\$ 49.17			
CDIS (fin)				00:00							\$ 61.67			
Total general	4145.481	8.6				02:04					89.5	\$ 360.75	\$ 190.00	\$ 550.75
	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD				RESTRICCIÓN DE TIEMPO DE LA JORNADA LABORAL				RESTRICCIÓN DE HORARIO EN LOS COMEDORES					

VALORES FIJOS, se deben contemplar en todas las iteraciones

Llenar campos con la matriz origen destino (o datos de distancia y tiempo obtenidos de Google Maps)

NO MODIFICAR, SÓLO EN CASO DE SER NECESARIO

Indicar orden de recorrido de acuerdo al resultado obtenido en WinQSB y tiempos proporcionados en [hh:mm]

Colocar el número de horas dependiendo del resultado obtenido en la suma del tiempo de distribución

Esta ha sido una explicación de cómo evaluar la ruta en caso de así requerirlo.