

# Route Design for vehicle mobilization in a service company. Tegucigalpa, Honduras.

Escoto B. Roberto, Student<sup>1</sup>, Torres B. María, Student<sup>2</sup>, Varela P. Saraí, Student<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UNITEC, Honduras, [robertoescoto@unitec.edu](mailto:robertoescoto@unitec.edu), <sup>2</sup>UNITEC, Honduras, [maria.barahona@unitec.edu](mailto:maria.barahona@unitec.edu), <sup>3</sup>UNITEC, Honduras, [saraivarelaa@unitec.edu](mailto:saraivarelaa@unitec.edu)

Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Tegucigalpa, Honduras, 11101

*Abstract— The project consists on the definition of routes for cars or trucks in order to satisfy the demand. The company has six trucks available to carry out the routes; it needs to satisfy thirty-four destinations not including its origin, which is the company itself. The research objective is to find the optimal routes with the shortest time of travel with the order and grouping suitable for all the conditions to be fulfilled. With the application of engineering tools such as "Capacitated Vehicle Routing Problem", "Traveling Salesman Problem " and support of heuristic techniques, the optimal routes are determined along with the grouping and sequence so that this are the best routes to follow on the system on each weekday.*

*Keywords— traveling agent, trained vehicle, routes, adequate*

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.255>  
ISBN: 978-0-9993443-1-6  
ISSN: 2414-6390

# Diseño de rutas para la movilización de vehículos, en empresa de servicio. Tegucigalpa, Honduras

Escoto B. Roberto, Estudiante Universitario<sup>1</sup>, Torres B. María, Estudiante Universitario<sup>2</sup>, Varela P. Saraí, Estudiante Universitario<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UNITEC, Honduras, [robertoescoto@unitec.edu](mailto:robertoescoto@unitec.edu), <sup>2</sup>UNITEC, Honduras, [maria.barahona@unitec.edu](mailto:maria.barahona@unitec.edu), <sup>3</sup>UNITEC, Honduras, [saraivarelaa@unitec.edu](mailto:saraivarelaa@unitec.edu)

Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Tegucigalpa, Honduras, 11101

**Abstract**– *Genera el desarrollo de rutas para cuadrillas o vehículos, con el fin de satisfacer la demanda ofreciendo un servicio al visitar a los clientes. La empresa cuenta con seis vehículos disponibles para poder realizar las rutas, necesita satisfacer a treinta y cuatro clientes que son los destinos a visitar sin incluir su origen que es la empresa misma. Se desea buscar las rutas adecuadas con menor tiempo de recorrido, por medio de la agrupación y orden adecuado para que éste se cumpla en los diferentes días de la semana. Mediante la ayuda de herramientas de “ruteo de vehículo capacitado” y “agente viajero” a través una técnica heurística, se muestra una serie de rutas adecuadas, con la agrupación y orden que debería seguir con el fin de reducir los tiempos de transportación.*

**Palabras clave:** agente viajero, vehículo capacitado, rutas adecuadas

## I. INTRODUCCIÓN

La necesidad para las empresas de servicios en cuanto a satisfacer sus clientes, se ha vuelto uno de los factores principales para el seguimiento de operación de la misma. Las empresas están ubicadas en un entorno donde está sometido a cambios continuos, donde resulta variable todo lo relacionado a proveedores, clientes, personal, competencia, entre otros. Las tendencias en los mercados son cambiantes, la planeación adecuada es clave para cualquier industria. Donde en este caso se busca localizar la programación de entrega de un servicio que será medido en unidades de tiempo.

Se necesita encontrar las mejores rutas con el fin minimizar el tiempo de recorrido de cada vehículo a todos los puntos de llegada y de regreso al origen. Se implementaron los métodos de “agente viajero” y de “ruteo de vehículo capacitado” usando una técnica heurística para reducir los tiempos de transportación.

El modelo diseñado con técnica heurística busca determinar las mejores rutas y asignaciones para la entrega. El rubro de la empresa se basa en todo lo que es la comunicación ya sea por servicio de internet, telefonía fija, por cable, entre otros. Por medio de planteamiento matemático con ayuda de “vehículo capacitado” se creará un algoritmo para encontrar rutas adecuadas y arreglos dentro de las rutas adecuadas, para saber qué segmento de clientes se visitarán en las diferentes

rutas. Se necesita encontrar la secuencia a recorrer en las rutas para saber qué cliente es conveniente visitar primero o de último, confirmando la secuencia ya establecida por “ruteo de vehículo capacitado” por medio del método de “agente viajero”.

## II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La empresa tiene un departamento donde recibe notificaciones de clientes que necesitan ser visitados. La semana de estudio hay 34 clientes en la semana de 30 octubre al 03 de noviembre del 2017 que requieren servicios técnicos. Para ello se necesitará la presencia de las cuadrillas o vehículos en donde están los clientes, la empresa cuenta con seis cuadrillas disponibles para cubrir las rutas. No todas las cuadrillas deben ser utilizadas obligatoriamente, ya que la empresa prefiere ahorrar gasolina, mantenimiento, todo lo relacionado a gastos con los vehículos.

Se desea determinar rutas de 34 destinos, donde la cuadrilla o vehículo, debe regresar a tiempo a la empresa. No puede exceder 240 minutos el tiempo de recorrido y se necesita recorrer la mayor cantidad de nodos posibles (clientes), tomando en cuenta que se debe satisfacer el trabajo solicitado en el destino.

Las rutas por estudiar son las que están planeadas a cumplirse en la mañana, en un horario de 8:00AM-12:00PM. En cada destino se encuentra un trabajo diferente a cubrir, como ejemplo de dichos trabajos se encuentra solucionar problema con el equipo brindado por la empresa, instalación y problema de señal. De acuerdo con estimaciones, sus respectivos códigos se visualizan en la tabla presentada a continuación:

	Tiempo	Código
Solucionar problema	60-80min	A1
Instalación	40-60min	B2
Problema de señal	50-70min	C3

Fig. 1 Tabla de códigos de trabajo

### III. METODOLOGÍA

Para la elaboración de estas rutas se usará una técnica heurística que combina los métodos de (CRVP) por sus siglas en inglés “Capacitated Routing Vehicle Problem”, y el problema que se conoce como (TSP) “Transport Salesman Problem”.

No se utilizó en su totalidad las técnicas que los métodos establecen, si no que se utilizaron técnicas heurísticas. Se entiende que el método de ruteo de vehículo capacitado, es manejado en demanda de volumen de producto (unidades). Para este caso la demanda es el tiempo que toma el trabajo a realizar. Cabe destacar que el procedimiento se realizó de forma manual, se enlistaron las posibles opciones de rutas. Posteriormente se realizó un procedimiento de filtrado para seleccionar solamente aquellas rutas que cumplían todas las restricciones.

Por otra parte, el método de agente viajero se conoce que su técnica inicia a partir del origen, pasa por todos los nodos de la red, y regresa finalmente al origen. Con las distintas agrupaciones que se obtuvieron por método de ruteo vehículo capacitado, se analizó cada agrupación individualmente como un problema de agente viajero. Por este método se determinó el orden que debe seguir cada agrupación para que la ruta sea la adecuada.

#### A. Problema de Ruteo Vehículo Capacitado

Al estudiar las rutas que cada cuadrilla o vehículo, realizaría en sus trayectos para llegar a la casa de varios clientes, se hizo uso de la aplicación de “Google Maps” que jugó un papel importante para analizar el tiempo de llegar de un destino A hacia un destino B.

En el modelo se define primeramente un grupo de destinos a cubrir los diferentes días de la semana (lunes, martes, miércoles y jueves). En la agrupación de destinos a cubrir por día, se analizó el tiempo de llegar de un nodo a otro. Para segmentar los destinos en los diferentes días de la semana fue por medio de la experiencia de los analistas al transitar por las calles y de los encargados de conducir el vehículo al trasladarse. Las restricciones en el modelo enmarcan aspectos como la capacidad de vehículos en función de tiempo, visitar un cliente a la vez y satisfacción de demanda.

El problema de ruteo de vehículo capacitado (CVRP) es uno de los problemas clásicos de la investigación de operaciones, tanto por su complejidad matemática, debido a que es un problema de optimización combinatoria, como por su importancia en la práctica, puesto que está presente en todas las organizaciones que deben entregar un servicio o producto a sus clientes en un domicilio acordado por las partes. El problema de ruteo de vehículos capacitado (CVRP) es un nombre genérico dado a un conjunto de problemas en los cuales se debe atender la demanda de productos o servicios por parte de los clientes, los cuales se encuentran dispersos geográficamente,

para lo cual se tiene una flota de vehículos y una o más bodegas desde donde parten y llegan los vehículos de la flota. La solución del problema debe especificar cuáles clientes serán servidos por cada vehículo y en qué orden para minimizar el tiempo total por ende el costo total también, considerando una variedad de restricciones, tales como, capacidad del vehículo y tiempos de despacho.<sup>7</sup>

Se requiere que:

- Cada ruta inicia y termina en el lugar de origen.
- Cada nodo o destino se visita una vez.
- Se quiere planear la creación de rutas para el cumplimiento de servicio a los clientes. Satisfaciendo las demandas de los clientes, con ciertas restricciones operacionales.
- Se desea minimizar en este caso los tiempos de transportación.
- Se requiere diseñar las rutas de los vehículos que salen y regresan al depósito,
- Para conocer cuántos vehículos se necesitarán en un día determinado:

$$\frac{\sum \text{demandas} + \sum \text{tiempo de recorrida a destinos ida y vuelta}}{\text{Tiempo de reocrrido máximo para una cuadrilla}} \quad (1)$$

Sus características:

- ✓ Lugar de origen.
- ✓ Clientes con demanda en función de tiempo.
- ✓ Flota de vehículos disponibles.

#### B. Problema de Agente Viajero

El objetivo es encontrar un recorrido completo que conecte todos los nodos de una red, visitándolos tan solo una vez y volviendo al punto de partida, y que además minimice la distancia total de la ruta. Este tipo de problemas tiene gran aplicación en el ámbito de la logística y distribución. La complejidad del cálculo del problema del agente viajero ha despertado múltiples iniciativas por mejorar la eficiencia en el cálculo de rutas.<sup>8</sup>

El software (Solver) se utilizó para el método de “agente viajero”, para poder obtener la secuencia de las agrupaciones en las rutas donde los tiempos de transportación son menores.

#### C. Análisis e interpretación de datos

La toma de tiempos se realizó durante una semana con la ayuda de la aplicación Google Maps. No obstante, según los datos obtenidos por la aplicación, todos fueron tomados en un flujo de tráfico normal y sin retrasos posibles al trasladarse. Se trabajó con el promedio de los tiempos obtenidos a diferentes horas del día. Los datos de tiempos son los de transportación que toma trasladarse de un nodo A hasta un nodo B.

#### D. Diseño del Sistema

Para asignar las rutas, se analizó por medio de la experiencia y análisis visual creando un sector en el mapa de varios destinos que están relativamente cerca uno del otro, por este medio se asignaron a los diferentes días (lunes, martes, miércoles y jueves) así que se podría decir que por cada día se cubría un sector diferente de la ciudad.

Por medio de problema “ruteo de vehículo capacitado” se analizó los diferentes escenarios en las posibles Rutas, el tiempo en cumplir la red asignada a cada vehículo. Para efectos de este estudio solo se utiliza la demanda, que está definida como el tiempo que tomará al vehículo estar trabajando en el destino “j” y listo para partir al nuevo nodo.

Cuando un destino estuviera en una ruta posible deberá analizarse la ruta completa para determinar si es una posible ruta. En caso de no cumplir la restricción de menor o igual 240 minutos se descarta esa opción.

No existe simetría en ambas direcciones debido a que el tiempo varía en las distintas direcciones, aunque se trate del mismo nodo A y B. Para que este método logre su objetivo en las 17 rutas que se obtuvieron, hubo un análisis una por una por este método para confirmar que la respuesta era la ruta más adecuada. De no serlo se obtenía la nueva respuesta con la ruta más adecuada y su respectivo orden a recorrer los nodos de la red con ayuda de “agente viajero”.

#### E. Calendarización de rutas

La calendarización de las rutas fue creada bajo la experiencia y análisis del mapa de la ciudad para dejar la ciudad seccionada por “zonas”. De esta manera se buscó cubrir en los distintos días, diferentes zonas de la ciudad con el fin de tratar que las rutas estén cerca, y realizar la red con la ruta más adecuada. A continuación, se muestran los diferentes días con los destinos a cubrir:

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves
Valle de Ángeles	Las Uvas	Santa Lucía (El Chimbo)	Flor del Campo
La Quezada	Las Hadas	Lomas del Guijarro	Las Torres
Ciudad Lempira	Nueva Suyapa	Tiloarque	La Rosa
Los Laureles	Aldea Suyapa	Nueva Esperanza	Villa Olímpica
21 de Febrero	San Ignacio	Las Casitas	El Cortijo
Centro América Oeste	Miraflores	Residencial Santa Cruz	Manchen
Res. Centro América	Buenos Aires	La Felicidad	Casa Mata
Las Crucitas	La Leona	Los Robles	Torocagua
Torocagua	El Bosque		

Fig. 2 Tabla de planificación de visita a los clientes

Para cada día de la semana, se asignaron números (0-8 ó 0-9 según sea el caso) como identificadores para los nodos involucrados en las diferentes matrices para crear las rutas adecuadas con “ruteo de vehículo capacitado”, en el desarrollo del mismo serán los números asignados para los diferentes orígenes y destinos. Se verán reflejado en la fórmula y en la respuesta. El origen siempre tendrá la asignación 0, los códigos observados es el trabajo que se realizará en cada nodo destino (cliente).

#### LUNES

Destinos por cubrir con su respectivo código y el identificador asignado para resolver el problema:

Identificador	Destinos (clientes)	Código de trabajo/servicio
1	Valle de Ángeles	A1
2	La Quezada	B2
3	Ciudad Lempira	B2
4	Los Laureles	C3
5	21 de Febrero	A1
6	Centro América Oeste	B2
7	Res. Centro América	A1
8	Las Crucitas	C3
9	Torocagua	C3

Fig. 3 Tabla del servicio a prestar a cada cliente de día lunes.

Matriz de tiempos de recorrido entre destinos para este día:

	Origen	Valle de Ángeles	La Quezada	Ciudad Lempira	Los Laureles	21 de Febrero	Centro América Oeste	Res. Centro América	Las Crucitas	Torocagua
Origen	1000	45	2	18	13	14	16	10	86	16
Valle de Ángeles	48	1000	46	56	54	42	52	41	50	53
La Quezada	2	47	1000	17	19	8	7	4	10	14
Ciudad Lempira	17	59	9	1000	17	21	15	13	17	16
Los Laureles	13	57	12	14	1000	8	10	17	15	16
21 de Febrero	11	53	10	10	10	1000	9	14	10	11
Centro América Oeste	13	40	10	25	22	19	1000	19	14	15
Res. Centro América	13	53	4	5	20	5	16	1000	13	18
Las Crucitas	85	57	9	16	15	10	13	11	1000	8
Torocagua	16	59	13	12	16	10	15	17	7	1000
DEMANDA		80	60	60	70	80	60	80	70	70

Fig. 4 Matriz de tiempos de llegar de un origen “i” a un destino “j”.

MARTES

Destinos por cubrir con su respectivo código y el identificador asignado para resolver el problema:

Identificador	Destinos (clientes)	Código de trabajo/servicio
1	Las Uvas	C3
2	Las Hadas	A1
3	Nueva Suyapa	A1
4	Aldea Suyapa	C3
5	San Ignacio	B2
6	Miraflores	B2
7	Buenos Aires	A1
8	La Leona	C3
9	El Bosque	B2

Fig. 5 Tabla del servicio a prestar a cada cliente de día martes.

Matriz de tiempos de recorrido entre destinos para este día:

	Origen	Las Uvas	Las Hadas	Nueva Suyapa	Aldea Suyapa	San Ignacio	Miraflores	Buenos Aires	El Bosque	La Leona
Origen	1000	15	15	11	13	6	5	16	17	14
Las Uvas	16	1000	4	20	17	16	16	27	27	24
Las Hadas	17	1	1000	21	18	17	15	27	38	25
Nueva Suyapa	12	19	21	1000	7	12	12	24	23	22
Aldea Suyapa	13	20	19	4	1000	10	8	20	19	18
San Ignacio	7	12	17	11	8	1000	5	20	18	18
Miraflores	7	17	15	11	9	4	1000	20	18	18
Buenos Aires	14	25	26	25	23	19	17	1000	3	3
El Bosque	15	25	27	24	22	18	16	3	1000	4
La Leona	16	27	25	24	22	17	15	3	4	1000
DEMANDA		70	80	80	70	60	60	80	60	70

Fig. 6 Matriz de tiempos de llegar de un origen “i” a un destino “j”.

MIÉRCOLES

Destinos por cubrir con su respectivo código y el identificador asignado para resolver el problema:

Identificador	Destinos (clientes)	Código de trabajo/servicio
1	Las Casitas	A1
2	Residencial Santa Cruz	B2
3	La Felicidad	A1
4	Santa Lucía (El Chimbo)	B2
5	Lomas del Guijarro	B2
6	Tiloarque	C3
7	Nueva Esperanza	B2
8	Los Robles	A1

Fig. 7 Tabla del servicio a prestar a cada cliente de día miércoles.

Matriz de tiempos de recorrido entre destinos para este día:

	Origen	Las Casitas	Res. Santa Cruz	La Felicidad	Santa Lucía (El Chimbo)	Lomas del Guijarro	Tiloarque	Nueva Esperanza	Los Robles
Origen	1000	18	21	16	21	9	10	9	18
Las Casitas	15	1000	4	17	32	27	13	12	23
Res. Santa Cruz	18	7	1000	18	33	26	17	15	11
La Felicidad	16	1	20	1000	24	11	12	9	19
Santa Lucía (El Chimbo)	24	36	35	21	1000	17	26	24	31
Lomas del Guijarro	8	28	26	13	23	1000	16	15	22
Tiloarque	11	20	18	13	27	16	1000	3	16
Nueva Esperanza	9	20	18	13	27	16	4	1000	14
Los Robles	12	15	13	17	32	20	14	14	1000
DEMANDA		80	60	80	60	60	70	60	80

Fig. 8 Matriz de tiempos de llegar de un origen “i” a un destino “j”.

JUEVES

Destinos por cubrir con su respectivo código y el identificador asignado para resolver el problema:

Identificador	Destinos (clientes)	Código de trabajo/servicio
1	Flor del Campo	C3
2	Las Torres	A1
3	La Rosa	C3
4	El Cortijo	B2
5	Casa Mata	C3
6	Manchen	A1
7	Torocagua	B2
8	Villa Olímpica	C3

Fig. 9 Tabla del servicio a prestar a cada cliente de día jueves.

Matriz de tiempos de recorrido entre destinos para este día:

	Origen	Flor del Campo	Las Torres	La Rosa	El Cortijo	Casamata	Manchen	Torocagua	Villa Olímpica
Origen	1000	12	12	11	16	10	11	16	17
Flor del Campo	13	1000	8	7	16	21	22	17	18
Las Torres	12	6	1000	3	14	21	23	17	17
La Rosa	12	5	3	1000	14	22	23	19	18
El Cortijo	15	13	12	12	1000	20	21	24	18
Casamata	10	19	20	20	26	1000	3	18	14
Manchen	12	20	21	21	18	3	1000	17	12
Torocagua	16	16	18	18	17	25	21	1000	21
Villa Olímpica	15	24	23	24	18	25	26	16	1000
DEMANDA		70	80	70	60	70	80	60	70

Fig. 10 Matriz de tiempos de llegar de un origen “i” a un destino “j”.

## F. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### *Problema de Ruteo de Vehículo Capacitado*

Sea:

0: Origen (la empresa)

i: Primer nodo visitado en la ruta

j: Segundo nodo visitado en la ruta

$R_{ij}$ : Tiempo recorrido de la ruta que visita los nodos "i" y "j"

$T_{0i}$ : Tiempo recorrido del origen al nodo "i"

$T_{j0}$ : Tiempo de recorrido del nodo "j" al origen.

$T_{ij}$ : Tiempo de recorrido nodo "i" al nodo "j"

$D_{ij}$ : Suma de demanda de "i" y "j"

Z: Tiempo total de recorrido en la ruta (en minutos)

Pasos por seguir:

#### 1. Generar Matriz del día estudiado

Para crear esta matriz es necesario conocer los clientes que se visitarán en los diferentes días de la semana. Para seleccionar los clientes que se visitarán en la semana, se secciona la ciudad por zonas para tener un grupo de clientes a visitar según sea la zona. Son 4 días de la semana y 34 clientes a visitar, realizando la división de clientes entre los días de la semana se obtiene un rango promedio de visitar entre ocho a nueve clientes por día. Por lo que las cuatro zonas en la que se separó la ciudad, debe contener entre ocho a nueve clientes a visitar.

#### 2. Conocer la necesidad de vehículos

Se puede predecir la cantidad de vehículos a necesitar en los días de la semana con la fórmula (1)

Se debe cumplir que:

$$\text{Vehículos por necesitar} \leq \text{Vehículos disponibles}$$

#### 3. Considerar las siguientes condiciones para las rutas:

Visitar a todos los clientes solo una vez, iniciar la ruta en el origen (la empresa), cumplir con la demanda  $D_{ij}$  y terminar la ruta en el origen (la empresa).

#### 4. Determinar posible cantidad máxima de nodos para las rutas

Para poder determinar la posible cantidad máxima de nodos para cada ruta, se enlista todas las posibles rutas y se considerarán como posibles rutas todas aquellas que no excedan de 240 minutos. Por lo tanto, la cantidad máxima de nodos a contener se determina desglosando todas las rutas y verificando cuáles rutas cumplen con dicho requerimiento.

5. Cálculo de tiempo en el recorrido de las rutas utilizando la expresión:

$$R_{ij} = T_{0i} + T_{j0} + T_{ij} \quad (2)$$

Se toman las rutas más largas a recorrer, siguiendo una secuencia decreciente para definir el inicio del desglose de las rutas en el día. Para considerar la demanda en el tiempo total de la ruta se considera la demanda, que es el tiempo que tomará el trabajo a realizar donde el cliente, utilizando la expresión:

$$Z = R_{ij} + D_{ij} \quad (3)$$

Se debe cumplir que el resultado de  $Z \leq 240$ , ya que la duración de la ruta no debe exceder ese tiempo.

### *Problema de Agente Viajero*

Variables:

Para el problema en su forma general (mTSP: Problema de agente viajero para m cantidad de viajeros) tendría la siguiente nomenclatura:

$R_{ijkl}$ : Tiempo recorrido desde el origen "i" al destino "j" con la cuadrilla "k" en el día "l".

$X_{ijkl}$ : Variable binaria que indica si se viaja desde el nodo "i" al nodo "j" con la cuadrilla "k" en el día "l"

Z: Tiempo total de recorrido en la ruta (en minutos)

No obstante, es posible expresar una nomenclatura simplificada debido a lo siguiente:

1. La división de los destinos/clientes por zonas según la cercanía entre ellos y asignación de dichas zonas a días específicos.
2. Listado de las posibles rutas, descartando aquellas no elegibles por exceder el tiempo máximo permitido (240 minutos).
3. El tiempo de recorrido y prestación del servicio en una ruta, es independiente de la cuadrilla que la realice.

De esta manera puede expresarse la nomenclatura simplificada para cada ruta a recorrer en cada día de la semana, de la siguiente manera:

$R_{ij}$ : Tiempo recorrido desde el origen "i" al destino "j"

$X_{ij}$ : Variable binaria que indica si se viaja desde el nodo "i" al nodo "j"

Z: Tiempo total de recorrido en la ruta (en minutos)

Función Objetivo:

Para el problema en su forma general (mTSP: Problema de agente viajero para m cantidad de viajeros) se definiría la siguiente función objetivo:

$$\text{Min} Z = \sum_{i=1}^{35} \sum_{j=1}^{35} \sum_{k=1}^6 \sum_{l=1}^4 R_{ijkl} X_{ijkl} \quad (4)$$

No obstante, puede expresarse la función objetivo simplificada para cada ruta a recorrer en cada día de la semana, de la siguiente manera:

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij}X_{ij} \quad (5)$$

Restricciones:

La versión simplificada de las restricciones para cada ruta a recorrer en cada día de la semana, es:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1, i = 1,2,3, \dots, n \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, j = 1,2,3, \dots, n \quad (7)$$

$$X_{ij} = (0,1) \quad (8)$$

La solución forma un viaje redondo por los destinos (9)

Pasos a seguir:

1. Conocer los tiempos de las rutas brindadas por el método de vehículo capacitado.
2. Ordenar los tiempos en una matriz para que el programa pueda cambiar las variables.
3. Restringir el Problema
  - 3.1. Los destinos deben visitarse una sola vez.
  - 3.2. No puede quedar destino sin visitar.
  - 3.3. Las variables que el programa cambiará deben ser binarias.
4. Resolver con programa (Solver).

IV. RESULTADOS

**Método Vehículo Capacitado**

La calendarización se les asignó a las cuadrillas de forma aleatoria los días correspondientes, ya que es indistinto que vehículo inicie el recorrido. Las cuadrillas que no tengan día asignado, tendrá una asignación diaria dentro de la empresa o en caso de necesitar cuadrillas de urgencia hay dos o una cuadrilla disponible dependiendo del día.

Para el día lunes se necesitarán cinco vehículos. Para los días martes, miércoles y jueves se requieren cuatro vehículos.

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES
<b>CUADRILLA 1</b>	Ruta C		Ruta B	Ruta D
<b>CUADRILLA 2</b>	Ruta D	Ruta A		Ruta A
<b>CUADRILLA 3</b>	Ruta A	Ruta D	Ruta C	
<b>CUADRILLA 4</b>		Ruta B		Ruta C
<b>CUADRILLA 5</b>	Ruta ESPECIAL		Ruta A	
<b>CUADRILLA 6</b>	Ruta B	Ruta C	Ruta D	Ruta B

Fig. 11 Distribución de rutas a los diferentes camiones, rutas que proporciona la solución por medio del método vehículo capacitado.

MAPAS DE LAS RUTAS

LUNES

Ruta A (0 2 8 0)

La secuencia para esta ruta es de origen- La Quezada- Las Crucitas- origen y se recorre en 227 minutos.

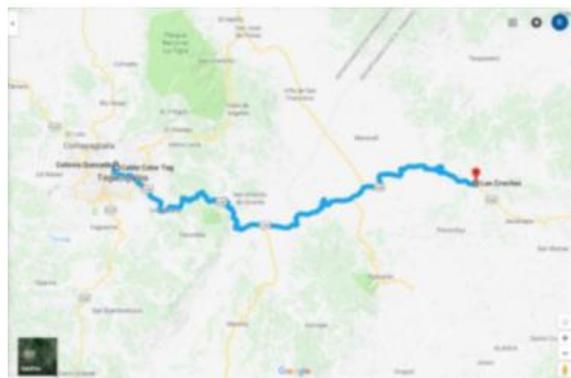


Fig.12 Mapa de Google Maps con la ruta a seguir

Ruta B (0 5 3 0)

La secuencia para esta ruta es desde su punto de origen- Colonia 21 de febrero- Colonia Ciudad Lempira- origen. El tiempo de recorrido obtenido para esta ruta es de 181 min.

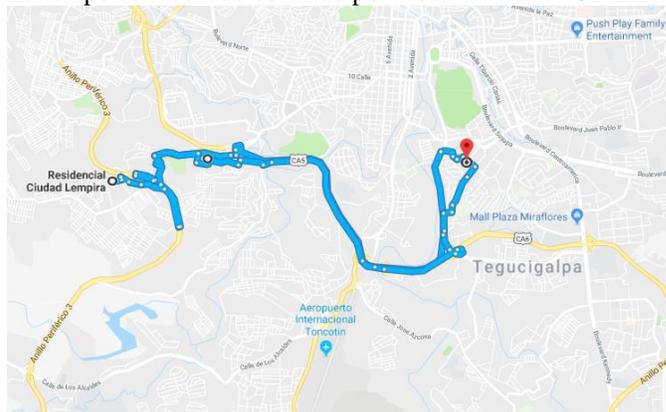


Fig.13 Mapa de Google Maps con la ruta a seguir



### Ruta D (0 5 6 2 0)

La secuencia de esta ruta es origen-San Ignacio- Aldea Suyapa- Residencial Suyapa- origen. El tiempo de recorrido obtenido para esta ruta es de 219 minutos.

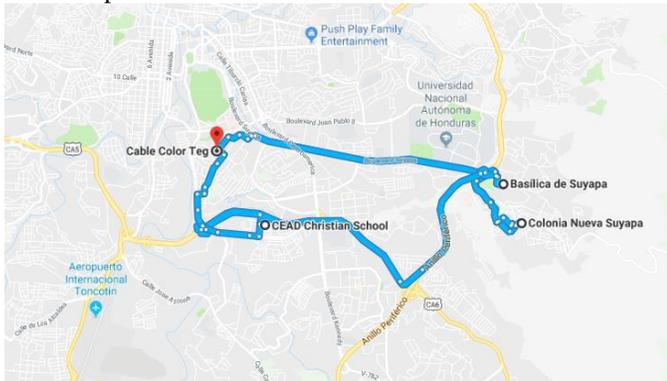


Fig.20 Mapa de Google Maps con la ruta a seguir

### Ruta C (0 3 8 0)

La secuencia de esta ruta es desde cable color a la colonia la felicidad para luego ir a los robles y regresar a cable color. El tiempo el cual se recorre es de 207 min.

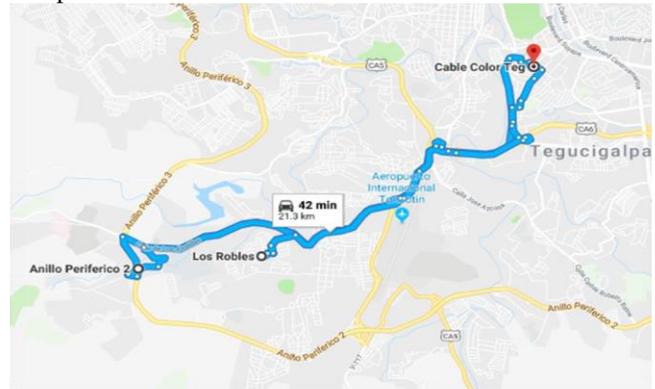


Fig.23 Mapa de Google Maps con la ruta a seguir

## MIÉRCOLES

### Ruta A (0 4 2 0)

La secuencia que toma esta ruta es origen- Residencial Santa Cruz- El Chimbo- origen. El tiempo de recorrido obtenido para esta ruta es de 194 minutos.

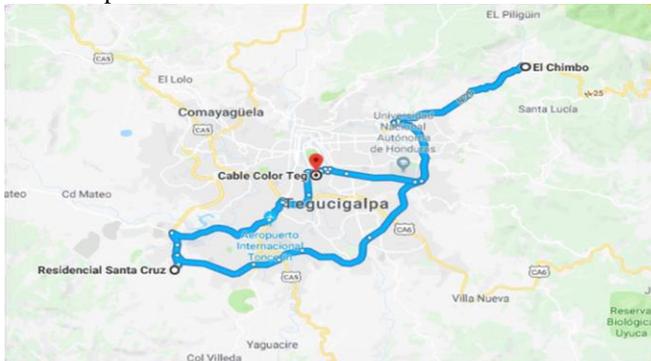


Fig.21 Mapa de Google Maps con la ruta a seguir

### Ruta D (0 6 7 0)

La secuencia para este ruta es de origen- Tiloarque- Nueva Esperanza- origen. El tiempo de recorrido obtenido para esta ruta es de 152 minutos.

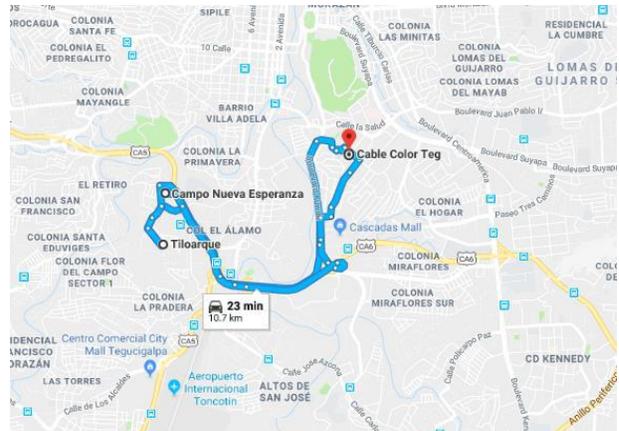


Fig.24 Mapa de Google Maps con la ruta a seguir

### Ruta B (0 5 1 0)

La secuencia de esta ruta origen- Las Casitas- Lomas del Guijarro- origen. El tiempo de recorrido obtenido para esta ruta es de 192 minutos.

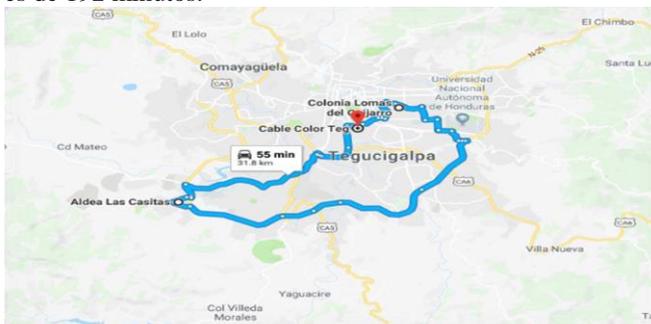


Fig.22 Mapa de Google Maps con la ruta a seguir

JUEVES

Ruta A (0 7 4 0)

La secuencia de esta ruta es de origen- Torocagua- El Cortijo- origen. El tiempo de recorrido obtenido para esta ruta es de 168 minutos.



Fig.25 Mapa de Google Maps con la ruta a seguir

Ruta B (0 2 6 0)

La secuencia para esta ruta es de origen- Las Torres- El Manchen- Origen. El tiempo de recorrido obtenido para esta ruta es de 193 minutos.

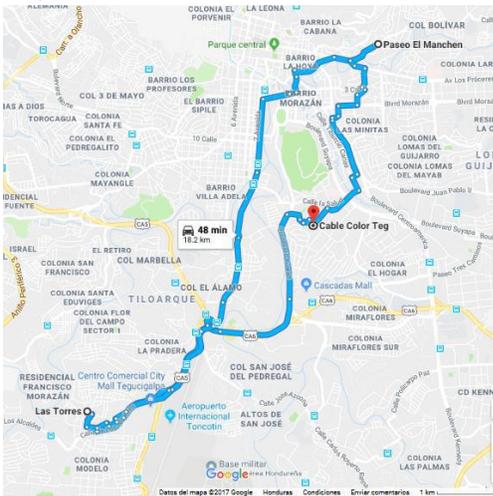


Fig.26 Mapa de Google Maps con la ruta a seguir

Ruta C (0 1 8 0)

La secuencia de esta ruta es de origen- Flor Del Campo- Villa Olímpica- origen. El tiempo de recorrido obtenido para esta ruta es de 185 minutos.



Fig.27 Mapa de Google Maps con la ruta a seguir

Ruta D (0 5 3 0)

La secuencia para esta ruta es de origen- Colonia La Rosa- Casamata- origen. El tiempo de recorrido obtenido para esta ruta es de 182 minutos.

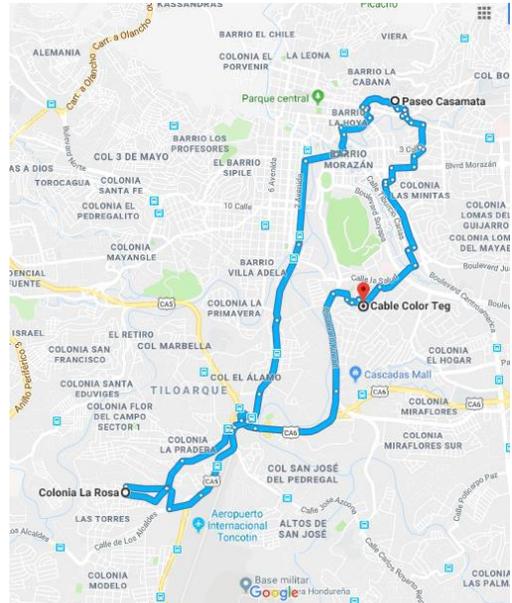


Fig.28 Mapa de Google Maps con la ruta a seguir

## V. CONCLUSIONES

1. Por medio del método de método de “ruteo de vehículo capacitado” se encontraron las posibles rutas adecuadas. El método de agente viajero realizó la secuencia adecuada a seguir para reducir los tiempos de transportación.
2. Todas las rutas se cumplen satisfactoriamente, se necesita cuatro vehículos para los días martes, miércoles y jueves. Para el día lunes se necesitan cinco vehículos para poder cubrir las rutas. Por medio de agente viajero se modificó la secuencia de nueve rutas reduciendo aún más sus tiempos de transportación.
3. El orden de ir de un origen “i” a un destino “j” importa en este sistema, ya que no existe simetría entre los nodos. Tienen una pequeña diferencia que hace que este factor de secuencia importe e influya al reducir los tiempos de transportación.
4. El diseño de calendarización de rutas, puede variar según los nodos que contengan cada ruta. Para el estudio de esta semana se logró calendarizar rutas a los diferentes vehículos.
5. Para replicar la aplicación de la técnica heurística aquí planteada para cualquier otra semana de trabajo de la empresa objeto de estudio u otra empresa similar, se debe considerar algunos factores críticos (variaciones por congestamiento, calles en construcción, manifestaciones, choques, entre otros) que influyen directamente en los tiempos de transportación y tener medidas establecidas para poder manejar cualquier factor de retraso en las rutas.

## REFERENCIAS

- [1] Cuerpo Técnico Cable Color. (25 de Octubre de 2017). Información Cable Color. Tegucigalpa, Francisco Morazán, Honduras.
- [2] Mason, D. (3 de noviembre de 2016). *Solver*. Obtenido de <http://solver.org>
- [3] Taha, Hamdy (2004). Investigación de Operaciones, 7ª. Edición, México: Pearson Educación. King and B. Zhu, “Gaming strategies,” in Path Planning to the West, vol. II, S. Tang and M. King, Eds. Xian: Jiaoda Press, 1998, pp. 158-176.
- [4] Martínez, S. I. A., & Vértiz, C. G. (2000). Investigaciones de operaciones. : Larousse - Grupo Editorial Patria. J.-G. Lu, “Title of paper with only the first word capitalized,” *J. Name Stand. Abbrev.*, in press.
- [5] Hillier & Liebermann, INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES, 8ª. Edición, México: McGrawHill.
- [6] Calvillo, I. D. (Agosto de 2010). Obtenido de [https://www.academia.edu/7520905/El\\_problema\\_de\\_ruteo\\_de\\_veh%C3%ADculos](https://www.academia.edu/7520905/El_problema_de_ruteo_de_veh%C3%ADculos)
- [7] Carrillo, A. F. (2014). *Repository*. Obtenido de [https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16579/Medio\\_realCarrilloAndresFelipe2014.pdf?sequence=1](https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16579/Medio_realCarrilloAndresFelipe2014.pdf?sequence=1)
- [8] López, B. S. (2016). *Ingeniero Industrial Online*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/problema-del-agente-viajero-tsp/>
- [9] Padilla, N. E. (Marzo de 2012). *Repository*. Obtenido de <http://repositorio.cuc.edu.co/xmlui/bitstream/handle/11323/90/1129495709.pdf?sequence=1>
- [10] Google, Google Maps