

**MODELACIÓN DE UNA HEURÍSTICA PARA EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO  
DE UN MODELO DETERMINÍSTICO DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON  
MÚLTIPLES DEPÓSITOS BAJO UN AMBIENTE ESTOCÁSTICO**

**CRISTIAN ANDRES MARTINEZ CARRANZA**

**DANIEL EDUARDO MEDINA TURIZO**



**UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**BARRANQUILLA**

**2014**

**MODELACIÓN DE UNA HEURÍSTICA PARA EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO  
DE UN MODELO DETERMINÍSTICO DE RUTEO DE VEHÍCULOS MÚLTIPLES  
DEPÓSITOS BAJO UN AMBIENTE ESTOCÁSTICO**

**CRISTIAN ANDRES MARTINEZ CARRANZA**

**DANIEL EDUARDO MEDINA TURIZO**

**M.Sc. SANTIAGO NIETO ISAZA**

**Asesor**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**BARRANQUILLA**

**2014**

NOTA DE ACEPTACION

Aprobado

PRESIDENTE DEL JURADO



Jurado 1



Jurado 2

Barranquilla, 09 de julio de 2014.

### APROBACIÓN DE TRABAJO DE GRADO


El día 09 de Julio del 2014 en el Laboratorio de Ingeniería Industrial, se llevó a cabo la sustentación del Proyecto de Grado de los estudiantes que se menciona a continuación y que fue APROBADO por 2 jurados correspondientes a la Ing. Nilson Herazo Padilla, Ing. Diana Ramírez Ríos en calidad de Docente Tiempo Completo, del Programa de Ingeniería Industrial. A continuación se relaciona el Proyecto de Grado con su respectivo nombre y asesor.

PROYECTO DE GRADO	ESTUDIANTE	IDENTIFICACION	ASESOR
MODELACIÓN DE UNA HEURÍSTICA PARA EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN MODELO DETERMINÍSTICO DE RUTEO DE VEHÍCULOS MÚLTIPLE DEPÓSITOS BAJO UN AMBIENTE ESTOCÁSTICO	MARTINEZ CARRANZA CRISTIAN	1041894144	SANTIAGO NIETO ISAZA
	MEDINA TURIZO DANIEL	1052968319	

Se firma la presente, en la ciudad de Barranquilla, a los (09) días del mes de Julio de 2014.

Cordialmente;

  
**NILSON HERAZO PADILLA**  
Docente Tiempo Completo  
Jurado 1

  
**DIANA RAMIREZ RIOS**  
Docente Tiempo Completo  
Jurado 2

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios primero que todo por haberme brindado la oportunidad de formar parte de esta investigación como opción de grado para obtener el título de Ingeniero Industrial de La Universidad de la Costa CUC.

Agradezco también a toda mi familia, en especial a mis padres Oneida Judith Carranza Padilla, Darwin Martínez Díaz, y a mi abuelo paterno Moisés Martínez Pérez (QEPD), por todos los esfuerzos y sacrificios que hicieron a lo largo de mi carrera, y por haber creído en mí y darme la oportunidad de estudiar una carrera profesional. Darles las gracias también a mis amigos de universidad, a mis compañeros de trabajo y a todas aquellas personas de una u otra forma intervinieron en este largo camino hacia mi formación académica.

Finalmente agradecerle al ingeniero Santiago Nieto Izasa quien con sus conocimientos y experiencia nos orientó en todo momento a lo largo del desarrollo de esta investigación.

**CRISTIAN MARTINEZ CARRANZA**

Esta de tesis de grado está dedicada a DIOS, por proporcionar la vida a través de mis queridos padres Eduardo Medina Mendoza y Amparo Turizo Chacón, quienes con mucho cariño, amor y trabajo han forjado en mí una persona con valores e integra. A mis hermanas y hermano, en especial a mí querida hermana Dayana Marcela Medina Turizo, que gracias a su gran esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional, vemos hoy el fruto de todos esos días de duro trabajo y sacrificio por ayudarme a salir adelante. Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de toda esa contribución dada que me han otorgado. A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos gracias.

**DANIEL MEDINA TURIZO**

## RESUMEN

En esta investigación se propone modelar una heurística para el análisis del desempeño de un modelo determinístico de ruteo de vehículos múltiples depósitos en un ambiente estocástico, en una empresa de acueducto del municipio de Uribia, Guajira, la cual se encarga de la distribución de agua potable a través de flotas de carro tanques para pequeñas comunidades indígenas del sector. Inicialmente se realiza una amplia revisión de la literatura de los VRP de tipo estocástico. Luego se realiza la modelación de un SMDVRP en tres etapas, la primera es un procedimiento de clusterización por depósitos bajo el criterio de mínima distancia recorrida, en la segunda se utiliza un método para la optimización de rutas de un (CVRP) basado en algoritmos de colonias de hormigas y en la tercera etapa se realiza la modelación estocástica del problema en base a dos variables de estudio. Por último se realiza un diseño de experimentos a los resultados obtenidos de la modelación del SVRP, para esto se definen unos factores de diseño con sus respectivos niveles, unos bloques de variabilidad y las variables de respuesta de interés del caso. El objetivo del diseño de experimentos para determinar qué factores son significativos de acuerdo con las variables de respuesta del caso y que ofrecen un mejor desempeño operacional del modelo de simulación estudiado. Los resultados obtenidos presentan un ahorro del 27% sobre los costos operacionales con respecto a la política de distribución actual que utiliza la empresa a la cual se hace el estudio.

**Palabras clave:** Problema de ruteo de vehículos de múltiples depósitos (MDVRP), Ambiente estocástico, Clusterización, Colonias de Hormigas, Simulación discreta, Diseño de Experimentos.

## ABSTRACT

This research proposes a heuristic model for analyzing the performance of a deterministic model of multiple vehicle routing in a stochastic environment deposits, in a company aqueduct Uribia, Guajira, which is responsible for the distribution of drinking water by tank truck fleets for small indigenous communities sector. Initially an extensive literature review of stochastic VRP type is performed. SMDVRP modeling of a three-step is then performed, the first is a method of clustering on deposits under the criterion of minimum distance, the second a method of route optimization of a (CVRP) based algorithms used ant colonies and in the third stage the stochastic modeling of the problem is performed on the basis of two variables of the study. Finally, a design of experiments to the results of the modeling SVRP to this design factors at their respective levels are defined, and blocks of variable response variables of interest the case is performed. The objective of design of experiments to determine which factors are significant according to the response variables of the case and which offer better operational performance of the simulation model studied. The results show a 27% savings on operating costs compared to current distribution policy used by the company to which the study is done.

**Keywords:** Multiple deposit vehicle routing problem (MDVRP), stochastic environment, Clustering, Ant Colony, discrete simulation, Design of Experiments.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
1. JUSTIFICACIÓN.....	16
2.1 Teórica .....	16
2.2 Práctica .....	16
3 OBJETIVOS .....	17
3.1 Objetivo General .....	17
3.2 Objetivos Específicos .....	17
4 MARCOS REFERENCIALES .....	18
4.1 Marco Teórico.....	18
4.1.1 Los Clientes .....	18
4.1.2 Los Depósitos .....	18
4.1.3 Los Vehículos.....	19
4.1.3 Métodos de Solución.....	19
4.2 Antecedentes y teorías básicas del problema.....	20
4.2.1 Clasificación de los Problemas de Ruteo de Vehículos Estocásticos SVRP.....	23
4.3 Definición de términos básicos (Marco Conceptual).....	49
4.3.1 CVRP	49
4.3.2 MDVRP.....	50
4.3.3 PVRP	50
4.3.4 SDVRP .....	50
4.3.5 SVRP	50
4.3.6 VRPPD .....	50
4.3.7 MFVRP .....	51
4.3.8 VRPTW.....	51
4.4 Marco Histórico .....	51
5. Diseño Metodológico .....	52
5.1 Tipo de Estudio .....	52



5.2	Técnicas de recolección de información .....	52
5.3	Fase de Revisión de la Literatura .....	53
5.4	Fase de Modelación y Análisis de Resultados .....	53
6.	Modelación del Problema de Ruteo de Vehículos Múltiples Depósitos Estocásticos (SMDVRP) .....	54
6.1	PROCEDIMIENTO DE CLUSTERIZACIÓN POR DEPÓSITO .....	54
6.1.1	Escenario Actual (no clusterizado) .....	55
6.1.2	Escenario de Mínima Distancia (clusterización) .....	57
6.2	Método de Optimización de Rutas con Ant Colony (ACO).....	57
6.3	MODELACIÓN EN ENTORNO ESTOCÁSTICO .....	59
6.3.1	DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE SIMULACION.....	59
6.3.2	ESCENARIOS DE SIMULACION .....	69
7.	DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....	72
7.2	Factores de Diseño .....	72
7.2.1	Naturaleza del Problema (NAT) .....	72
7.2.2	Rutas de Optimización (RUT).....	73
7.2.3	Clusterización (CLU) .....	73
7.4	Bloques .....	74
7.4	Variables de Respuesta .....	74
8.	Análisis y Resultados de la Investigación.....	75
8.1	Análisis y Resultados de la Clusterización por Depósitos.....	75
8.2	Análisis y Resultados del Método de Optimización de Rutas .....	76
8.3	Análisis y Resultados del Modelo de Simulación .....	77
8.4	Análisis y Resultados del Diseño de Experimentos .....	81
8.4.1	Variable de respuesta de Costos .....	81
8.4.2	Variable de Respuesta de Tiempo.....	85
8.5	Análisis y Resultados de la Proyección de Costos .....	89
9.	CONCLUSIONES .....	96
	Bibliografía .....	97

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Las contribuciones al problema de ruteo de vehículos con demandas estocástica</i> .....	37
Tabla 2. Las contribuciones al problema de ruteo de vehículos con clientes estocásticos	41
Tabla 3. Las contribuciones al problema de ruteo de vehículos con clientes y Demandas estocásticas .....	43
Tabla 4. Secuencia que sigue cada vehículo para realizar las visitas los clientes de acuerdo a las políticas de distribución de la empresa. ....	56
Tabla 5. Matriz de Asignación para la Secuencia de Rutas .....	59
Tabla 6. Matriz de Asignación para la Secuencia de Tiempos de nodo a nodo.....	60
Tabla 7. Entidades del modelo de simulación .....	61
Tabla 8. Atributos del modelo de simulación .....	61
Tabla 9. Variables del modelo de simulación .....	61
Tabla 10. Estaciones del modelo de simulación .....	62
Tabla 11. Rutas del modelo de simulación .....	62
Tabla 12. Escenarios determinísticos analizados .....	70
Tabla 13. Escenarios estocásticos analizados .....	71
Tabla 14. Clasificación de los factores del diseño de experimentos .....	74
Tabla 15. Resultados de Escenarios determinísticos (costo y tiempo) .....	77
Tabla 16. Resultados de Escenarios estocásticos (costo y tiempo), con variación del 5% del tiempo determinístico.....	78
Tabla 17. Resultados de Escenarios estocásticos (costo y tiempo), con variación del 10% del tiempo determinístico.....	79
Tabla 18. Resultados de Escenarios estocásticos (costo y tiempo), con variación del 15% del tiempo determinístico.....	80
Tabla 19. Resultados Experimento Factorial General (COSTO) .....	81
Tabla 20. Resultados Experimento Factorial General (TIEMPO) .....	85
Tabla 21. Proyección de costos con tiempos de rutas determinísticos.....	89
Tabla 22. Proyección de costos 5% de variabilidad en los tiempos .....	89
Tabla 23. Proyección de costos 10% de variabilidad en los tiempos de rutas .....	90
Tabla 24. Proyección de costos 15% de variabilidad en los tiempos de rutas .....	91
Tabla 25. Relación porcentual de Ahorro de Instancias de optimización frente a la instancia actual.....	93
Tabla 26. Ahorro proyectado de Rutas de Optimización vs escenario actual. ....	95

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Las dos actualizaciones estrategias a y b .....	24
Figura 2. Etapas de la Modelación del SMDVRP.....	54
Figura 3. Asignación de Clientes a Depósitos por criterio de mínima distancia recorrida ..	55
Figura 4. Localización geográfica de depósitos y clientes del problema .....	55
Figura 5. Escenario actual de asignación de clientes a los centros de distribución del caso de estudio.....	56
Figura 6. ACO algoritmo pseudo-código.....	58
Figura 7. Lógica general del Modelo de Simulación .....	63
Figura 8. Bloque “Create” del modelo de simulación .....	64
Figura 9. Bloque “Assign” del modelo de simulación .....	65
Figura 10. Bloque Route (Asignar entidades a depósito) .....	66
Figura 11. Bloque Route (Asignar entidades hacia clientes) .....	66
Figura 12. Bloque Route (Asignar la secuencia de rutas de las entidades entre clientes)	67
Figura 13. Bloque Station (Generar los depósitos) .....	67
Figura 14. Bloque Station (Generar los clientes).....	68
Figura 15. Bloque Assign (Cálculo del tiempo y del costo de las entidades en el sistema) .....	69
Figura 16. Asignación de Clientes por Cluster .....	75
Figura 17. Gráfica de interacción para costo.....	82
Figura 18. Gráfica de efectos principales para costo.....	83
Figura 19. Gráfica de variables múltiples para costo por NAT - RUT .....	84
Figura 20. Gráfica de variables múltiples para tiempo por Bloques - CLU .....	86
Figura 21. Gráficas de efectos principales para tiempo.....	87
Figura 22. Gráfica de interacción para tiempo.....	88
Figura 23. Gráfica de efectos principales para costo.....	92
Figura 24. Gráfica de variables múltiple para COSTOS por CLU - PROYECCION.....	93
Figura 25. Gráfica de variables múltiple para COSTOS por NAT - PROYECCION.....	94
Figura 26. Gráfica de variables para COSTOS por RUT – PROYECCION.....	95

## INTRODUCCIÓN

El problema de enrutamiento de vehículos VRP puede ser descrito como una extensión o una generalización del problema del agente viajero TSP. En el TSP un vendedor debe visitar un conjunto de clientes ubicados en diferentes ciudades. El objetivo de este es encontrar el camino más corto posible para visitar a todos los clientes. Hay dos restricciones que al final la ruta debe satisfacer: primero, la ruta debe empezar y terminar en la misma ciudad; la segunda, el vendedor debe visitar cada cliente, es decir, la ciudad exactamente una vez.

Desde su introducción por Dantzig y Ramser (1959), muchas versiones extendidas diferentes del VRP han sido estudiadas. Más y más limitaciones hacen que los problemas resultantes se alineen mejor con aplicaciones reales, siendo estas asociadas con el VRP clásico. Estos incluyen versiones extendidas como el VRP con ventanas de tiempo (VRPTW) (Fisher et., al 1997), el VRP heterogéneo (HVRP) (Golden et., al 1984), al aire libre VRP (OVRP) (Li and Tian, 2006; Li et al., 2009), el VRP con viajes de regreso (VRPB) (Deif y Bodin, 1984), y el multiperiodo VRP (Zäpfel y Bögl, 2008).

En todos los problemas mencionados anteriormente el VRP determinista no puede cubrir contextos de la vida real cuando algunos componentes del VRP son aleatorios o estocásticos. Estos problemas pueden ser emitidos en el marco de los problemas estocásticos de enrutamiento de vehículos (SVRP). En términos de la naturaleza de los componentes estocásticos, la SVRP se puede dividir en las siguientes clases. El más común es el VRP con demanda estocástica (VRPSD), en la que los vehículos deben servir a un conjunto de clientes con demandas estocásticas e inciertas (Tillman, 1969; Stewart y Golden, 1983; Bertsimas, 1992; Gendreau et al, 1995.). La segunda clase es el VRP con clientes estocásticos (VRPSC), en el que cada cliente tiene una demanda determinista y una probabilidad  $p$  de estar presente. La tercera versión, que combina la VRPSD y VRPSC, es el VRP con clientes estocásticos y demandas estocásticas. Para un estudio detallado de la SVRP, uno puede referirse a Gendreau et al. (1996a) y por último se tiene los VRP con tiempos de viaje estocásticos donde el tiempo de servicio y el tiempo de viaje son variables aleatorias.

El objetivo de este trabajo consiste en modelar una heurística para un problema de enrutamiento de vehículos con múltiples depósitos (VRPMD) en un ambiente estocástico, de acuerdo con los datos suministrados por una empresa de acueducto del municipio de Uribía, Guajira y hacer un análisis de sensibilidad mediante diseño de experimentos a las soluciones encontradas.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema de logística de distribución ha sido objeto de estudio desde hace muchos años, la necesidad de encontrar rutas de distribución que optimicen los costos operacionales de una empresa, es un objetivo fundamental para cualquier compañía que trabaja con redes logísticas. La administración de los recursos es un factor clave en estos problemas, ya que en la mayoría de los casos estos no son administrados de forma eficiente lo que genera sobrecostos al momento de la ejecución de las operaciones de transporte. Todo esto conlleva a que las organizaciones presenten un bajo nivel productivo y por ende competitivo a nivel empresarial.

El entorno competitivo actual, y su perfil globalizado dan evidencia de la importancia que tiene el oportuno manejo de la logística de distribución, en particular el transporte de mercancía, que representa un 40% a 50% de los costos logísticos. Por otra parte, la tendencia de globalización ha hecho que los mercados cada vez sean más dinámicos y demanden tiempos de respuesta más cortos; lo anterior, ha incentivado el diseño de estrategias de transporte como el cross-docking y merge-in-transit, que buscan generar economías de escala en transporte de gran distancia y mejores tiempos de respuesta, pero que requieren que las operaciones de transporte sean de gran sincronía y de gran eficiencia, sobre todo para la distribución (hacia el cliente) de la mercancía. Además de lo anterior, el sector de transporte demanda un gran consumo energético de combustibles fósiles, lo cual se ha convertido en un tema de atención mundial y que además es un condicionante para el desarrollo urbano sostenible.

Para este tipo de problemas las principales causas de la baja productividad y por ende una baja competitividad en el transporte de mercancías, están dadas inicialmente por los excesivos costos de transporte y la ineficiente utilización de los recursos, adicionalmente se deben considerar otras variables representativas del problema como los son los tiempos de ruta, las demandas de los clientes y los tiempos de servicio.

Otro elemento de vital importancia que juega un papel importante en cualquier problema de logística de distribución, son las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones TIC's puesto que son las encargadas de consolidar, guardar,

manipular y distribuir información que sirve como soporte para la toma de decisiones estratégicas, tácticas y operativas. En el desarrollo industrial las TIC's, se han convertido en una fuente de ventaja competitiva y por esta razón la Cadena de Suministro no ha sido ajena a su impacto, lo cual ha influido positivamente en su funcionamiento, debido a que opera en un ambiente globalizado y altamente cambiante, donde la información oportuna y de calidad se convierte en el mejor aliado.

En la actualidad una cadena de suministro está sujeta a frecuentes cambios donde por el tipo de ambiente de libre comercio a las que están expuestos los distintos parámetros de decisión, es necesaria la creación de un contexto donde las variables del sistema sean cambiantes, es decir una atmósfera estocástica que permita experimentar con el sistema

(Diseño de experimentos) y realizar un análisis de los posibles eventos que se llegaría a presentar en una red de suministro que opera bajo cierto parámetro de decisión (costo operacional, tiempo, ruta, etc.) para obtener el menor costo posible de una actividad de envío de producto a un determinado conjunto de clientes, que en ciertos casos podría estar referenciada por la utilización de una heurística de optimización para un problema de VRP en una cadena logística.

Teniendo como referencia la situación planteada de las heurísticas para el cálculo de un óptimo y la atmósfera estocástica a las que están sujetas las diferentes variables de decisión de una cadena logística, surge la siguiente pregunta de investigación **¿Qué tan sensible es un modelo determinístico para planeación operativa de ruteo de vehículos de múltiples depósitos con relación a su desempeño operacional en un ambiente estocástico?**

# 1. JUSTIFICACIÓN

## 2.1 Teórica

Los problemas de enrutamiento de vehículos han sido objeto de estudio desde mediados del siglo pasado, debido a su complejidad y a la dificultad que representa encontrar una solución óptima que garantice que cumplan los supuestos que rigen este tipo de problemas de optimización combinatoria. Métodos computacionales, heurísticas y metaheurísticas han sido utilizadas para darle solución a estos problemas, sin embargo no garantizan encontrar óptimos globales, por su naturaleza combinatoria, además, de ser catalogados como problemas del tipo *np-hard*, lo cual significa que no existe ningún algoritmo que resuelva óptimamente el problema en tiempo polinomial.

Un gran número de investigaciones publicadas buscan resolver dichos problemas, con distintos enfoques de optimización, sin embargo las múltiples variaciones a las que se encuentran sujetos estos problemas hacen mucho más difícil encontrar una solución que garantice robustez tanto en los tiempos de ejecución, como en la optimalidad global de la solución.

## 2.2 Práctica

La asignación y secuenciación de rutas es una operación muy compleja y delicada en un proceso de distribución de mercancías, ya que se trata de un problema de naturaleza combinatoria, en donde por lo general el objetivo es hallar el conjunto de rutas que minimicen los costos de transporte bajo ciertas condiciones preestablecidas. Adicionalmente, el número de clientes puede aumentar, las demandas pueden no ser fijas, los tiempos de viaje y de servicio tienden a ser estocásticos. Trabajar sobre este tipo de variables aleatorias hace a los VRP estocásticos mucho más difíciles de resolver que los VRP deterministas, ya que un SVRP es mucho más aproximado a contextos de la vida real, en donde pueden presentarse situaciones como: Aumento o disminución del número de clientes presentes en una ruta, en caso de que un cliente ya no forme parte de la ruta inicialmente establecida, esto se debe saber con anticipación para que este cliente sea saltado. Puede suceder también que las demandas de un conjunto de clientes de una ruta no sean fijas, lo que conlleva a que una vez la capacidad del vehículo sea alcanzada o superada, este regrese al depósito para reabastecerse y continuar con el despacho de mercancías. Por último se tienen los VRP con



tiempos de viaje estocástico donde se puede incurrir en una sanción si la duración de la ruta excede un plazo determinado.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

- ✓ Modelar una heurística para el análisis del desempeño de un modelo determinístico de ruteo de vehículos con múltiples depósitos bajo un ambiente estocástico utilizando simulación de eventos discretos y algoritmos de optimización.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar el tipo de modelo determinístico de ruteo de vehículo VRP (múltiples depósitos) y sus características a estudiar.
- ✓ Implementar un algoritmo de optimización para la solución del modelo determinístico de ruteo de vehículos múltiples depósitos.
- ✓ Modelar un problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos estocástico utilizando simulación de eventos discretos.
- ✓ Realizar un análisis estadístico de la sensibilidad del modelo determinístico en el ambiente estocástico a través de técnicas de diseño de experimento para problemas de VRP con múltiples depósitos.

## **4 MARCOS REFERENCIALES**

### **4.1 Marco Teórico**

El problema de ruteo de vehículos VRP consiste en, dado un conjunto de clientes y depósitos dispersos geográficamente y una flota de vehículos, determinar un conjunto de rutas de costo mínimo que comiencen y terminen en los depósitos, para que los vehículos visiten a los clientes. Las características de los clientes, depósitos y vehículos, así como diferentes restricciones operativas sobre las rutas, dan lugar a diferentes variantes del problema. Alfredo Olivera (2004)

#### **4.1.1 Los Clientes**

Cada cliente tiene cierta demanda que deberá ser satisfecha por algún vehículo. En muchos casos, la demanda es un bien que ocupa lugar en los vehículos y es usual que un mismo vehículo no pueda satisfacer la demanda de todos los clientes en una misma ruta.

En otros casos la demanda no es un bien sino un servicio: el cliente simplemente debe ser visitado por el vehículo. Un mismo vehículo podría, potencialmente, visitar a todos los clientes. 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 clientes podrían tener restricciones relativas 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 cliente.

#### **4.1.2 Los Depósitos**

Tanto los vehículos como las mercaderías a distribuir (si las hubiera) suelen estar ubicadas en depósitos. Usualmente se exige que cada ruta comience y finalice en un mismo depósito, aunque este podría no ser el caso en algunas aplicaciones (por ejemplo, podría ser que el viaje debiera finalizar en el domicilio del conductor del vehículo). En los problemas con múltiples depósitos cada uno de estos tiene diferentes características, por ejemplo, su ubicación y capacidad máxima de producción. Podría ocurrir que cada depósito tenga una flota de vehículos

asignada a priori o que dicha asignación sea parte de lo que se desea determinar. Los depósitos, al igual que los clientes, podrían tener ventanas de tiempo asociadas. En algunos casos debe considerarse el tiempo necesario para cargar o preparar un vehículo antes de que comience su ruta, o el tiempo invertido en su limpieza al regresar. Incluso, por limitaciones de los propios depósitos, podría querer evitarse que demasiados vehículos estén operando en un mismo depósito a la vez (es decir, la congestión del depósito).

### **4.1.3 Los Vehículos**

La capacidad de un vehículo podría tener varias dimensiones, como por ejemplo peso y volumen. Cuando en un mismo problema existen diferentes mercaderías, los vehículos podrían tener compartimentos, de modo que la capacidad del vehículo dependa de la mercadería de que se trate. En general, cada vehículo tiene asociado un costo fijo en el que se incurre al utilizarlo y un costo variable proporcional a la distancia que recorra.

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, de flota heterogénea. La cantidad de vehículos disponibles podría ser un dato de entrada o una variable de decisión. El objetivo más usual suele ser utilizar la menor cantidad de vehículos y minimizar la distancia recorrida ocupa un segundo lugar.

### **4.1.3 Métodos de Solución**

Existen 2 posibles enfoques en la solución de problemas enteros o problemas enteros mixtos: los métodos exactos y los métodos aproximados. Los MIP, por su naturaleza combinatoria explicada anteriormente, requieren un incremento dramático en esfuerzo computacional, por lo cual si el método de solución no es bien escogido e implementado, un problema relativamente pequeño podría tardar enormes cantidades de tiempo en ser resuelto, por esta razón, muchas veces se puede optar por sacrificar una solución óptima y lograr muy buenos resultados en corto tiempo.

#### **4.1.3.1 Métodos Exactos**

Dada la complejidad de los problemas, solo las instancias con pocos clientes (hasta 50 aproximadamente) pueden ser resueltas consistentemente por métodos exactos. En este tipo de metodologías, suele resolverse alguna relajación del problema y utilizarse un esquema de ramificación y acotamiento al estilo del método Branch and Bound. También se han propuesto algoritmos basados en

Programación Dinámica que aceleran los cálculos mediante una relajación del espacio de estados. Por otro lado, hay diversas implementaciones del método de Generación de Columnas, que han resultado especialmente efectivas para problemas con ventanas de tiempo muy ajustados. Por un completo compendio de métodos exactos para Problemas de Ruteo de Vehículos, puede consultarse los trabajos de Laporte et al. (1987) y de Laporte (1992).

#### **4.1.3.2 Métodos Aproximados**

Entre los métodos aproximados para resolver problemas VRP se encuentran métodos heurísticos y métodos metaheurísticos, la diferencia entre estos radica en que la forma de obtener soluciones en los primeros es determinística y en los segundos es probabilística. Para los métodos heurísticos se pueden destacar los métodos de ahorro de tiempo y los métodos de inserción. Se pueden destacar los trabajos de Clarke y Wright (1964); Desrochers y Verhoog (1989); Wark y Holt (1994); Mole y Jameson (1976); Christofides, Mingozzi y Toth (1979); Solomon (1987).

Entre los métodos metaheurísticos se pueden enumerar:

- ✓ TABÚ SEARCH (BÚSQUEDA TABÚ)
- ✓ SIMULATED ANNEALING (RECOCIDO SIMULADO)
- ✓ GENETIC ALGORITHMS (ALGORITMOS GENÉTICOS)

#### **4.2 Antecedentes y teorías básicas del problema**

Rocha et al. (2011) hace referencia al primer problema planteado de tipo VRP se trata del problema del agente viajero o TSP (Travelling Salesman Problem) introducido por Flood en 1956. En el problema se describe un agente vendedor que debe visitar cierta cantidad de ciudades en un solo viaje, de tal manera que inicie y termine su recorrido en la ciudad "origen"; el agente debe determinar que ruta debe seguir para visitar cada ciudad una sola vez y regresar de tal manera que la distancia total recorrida sea mínima.

De la formulación propuesta por Flood, nacen variaciones como el TSP generalizado en 1959 con Dantzing y Ramser; trabajo en el cual se modela el despacho de combustible a través de una flota de camiones a diferentes estaciones de servicio, desde una terminal. Este trabajo se convierte en la base para un desarrollo posterior de otras formulaciones que van incrementando el número de variables y restricciones.

Jean François Cordeau et al. (2007) describen los problemas de enrutamiento de vehículos estocásticos (SVRPs) como una extensión del VRP determinista en los cuales algunos componentes son aleatorios. Los tres casos más comunes son:

- (1) Demandas estocásticas (para ser recogida, dice): la demanda  $\xi_i$  de un cliente  $i$  es una variable aleatoria;
- (2) Clientes estocásticos: un cliente  $i$  está presente con una probabilidad  $p_i$  y ausente con una probabilidad  $1-p_i$ ;
- (3) Tiempos estocásticos: el tiempo de servicio  $s_i$  del cliente  $i$  y el tiempo de viaje  $t_{ij}$  del extremo  $(i,j)$  son variables aleatorias.

Debido a que algunos de los datos son aleatorios ya no requieren satisfacer las restricciones para todas las realizaciones de las variables aleatorias y nuevos conceptos de optimalidad y factibilidad son requeridos. Con respecto a sus homólogos deterministas, los SVRPs son considerablemente más difíciles de resolver. No sólo es la noción de una solución diferente, pero algunas de las propiedades que eran válidos en un contexto determinista ya no se mantienen en el caso estocástico (véase, por ejemplo., Dror et al., 1989; Gendreau et al., 1996). Aplicaciones de SVRP surgen en un número de escenarios, tales como la entrega de comidas a domicilio (Bartholdi et al., 1983) o de gasóleo de calefacción (Dror et al., 1985), disposición de lodos (Larson, 1988), ruteo de montacargas en bodegas (Bertsimas, 1992), recolección de dinero en sucursales bancarias (Lambert et al., 1993), en general las operaciones de recogida y entrega (Hvattum et al., 2006). VRP estocásticos pueden formularse y resolverse en el contexto de programación estocástica: una primera etapa o la solución a priori es calculada, las realizaciones de las variables aleatorias a continuación, se dan a conocer y, en una segunda etapa, una acción de *recurso* o correctivo es aplicada a la primera etapa de solución. La acción de recurso por lo general genera un costo o un ahorro que puede ser tomado en cuenta cuando se diseña la primera etapa de solución. Para ilustrar considere un ruteo de vehículo planificado en un SVRP con demandas estocásticas. Debido a que las demandas son estocásticas, la capacidad del vehículo puede ser alcanzada o superada en algún cliente  $j$  antes de que la ruta sea completada. En este caso unas posibles series de políticas de recurso son posibles. Por ejemplo, el vehículo podría volver al depósito para descargar y reanudar colecciones en el cliente  $j$  (sí la capacidad del vehículo fue excedida en  $j$ ) o en el sucesor de  $j$  en la ruta (sí la capacidad del vehículo fue alcanzada exactamente en  $j$ ). Otra política sería planear viajes de regreso de preventivos al depósito con la esperanza de evitar mayores costos en una etapa posterior (véase, por ejemplo, Laporte y Louveaux, 1990; Dror et al., 1993; Yang et al.,

2000). Una política más radical sería optimizar el segmento de ruta siguiente a  $j$  a su llegada al depósito (vea, por ejemplo., Bastian and Rinnooy Kan, 1992; Secomandi, 1998; Haughton, 1998, 2000). La mejor opción de una política de recurso depende del momento en que la información esté disponible. Por ejemplo la información sobre la demanda un cliente solo puede estar disponible al llegar a ese cliente o cuando visita al cliente anterior, permitiendo de este modo una gama más amplia de acciones de recurso como por ejemplo volver al depósito en previsión de fallo o aplazar la visita de un cliente de alta demanda. Un amplio análisis de las políticas de recursos en el contexto de la disponibilidad de información se proporciona en Dror et al. (1989).

Existen dos conceptos principales de solución en la programación estocástica. En la Probabilidad de programación restringida (PCC) la primera etapa del problema es resuelta bajo la condición de que las restricciones son satisfechas con cierta probabilidad. Por ejemplo, se podría imponer un umbral de fallo  $\alpha$  es decir, rutas de planificadas deberían fallar con una probabilidad a lo sumo igual a  $\alpha$ . El costo del fracaso es generalmente ignorado en este enfoque. Stewart y Golden (1983) han propuesto la primera formulación CCP para el VRP con demandas estocásticas. Usando un modelo de tres índices ellos mostraron que restricciones probabilísticas podrían ser transformadas en una forma equivalente determinista. Laporte et al. (1989) más tarde propuso una transformación similar para un modelo de dos índices. El interés de tales transformaciones es la probabilidad restringida SVRP puede entonces ser resuelta utilizando cualquiera de los algoritmos disponibles para el caso determinista. En la programación estocástica con recurso (SPR) dos conjuntos de variables son utilizadas: las variables de la primera etapa caracterizan la solución generada antes de la realización de las variables aleatorias, mientras que las variables de la segunda etapa definen la acción de recurso. El costo de la solución está definido como la suma de los costos de la primera etapa de solución y el de la acción de recurso. El objetivo de la SPR es diseñar una primera etapa de solución de menor costo total esperado. Los SVRPs estocásticos son generalmente modelados y resueltos en el marco de una optimización a priori (Bertsimas et al., 1990) o como los procesos de decisión de Markov (Dror et al., 1989). La optimización a priori calcula la primera etapa de solución de menor costo esperado bajo una política de recurso dada. El más favorecido con la metodología de optimización a priori es el método entero en forma de L (Laporte y Louveaux 1993, 1998), que pertenece a la misma clase que la descomposición de Benders (Bender, 1962) y el método en forma de L continua para la programación estocástica (Van Slyke y West, 1969). Mientras la reoptimización de la ruta es preferible para una optimización a priori desde un punto de vista del costo de la solución, es más engorroso. En contraste una

optimización priori implica la solución de una sola instancia de un problema NP-difícil y produce una solución más estable y predecible (Bertsimas et al., 1990). También es superior para la solución de una instancia de un VRP determinista con demandas esperadas (Louveaux, 1998).

#### **4.2.1 Clasificación de los Problemas de Ruteo de Vehículos Estocásticos SVRP**

A continuación se presentan los diferentes tipos de SVRP de mayor importancia, que han sido objeto de estudio a lo largo de la historia de la investigación de operaciones.

##### **4.2.1.1 El Problema de Ruteo de Vehículos con Demandas Estocásticas (VRPSD)**

Dimitris J. Bertsimas (1992) estudió una variación importante del VRP, en el que las demandas son de naturaleza probabilística y no determinista. En particular, un solo vehículo de la capacidad limitada debe satisfacer las demandas en ubicaciones fijas  $n$ , regresando periódicamente al depósito cuando quede vacío para abastecerse. El objetivo es minimizar la distancia total recorrida. En su trabajo se considera la situación en que la demanda de cada lugar es desconocida en el momento cuando el recorrido es diseñado pero se supone que sigue una distribución de probabilidad conocida. Un enfoque obvio para este problema es rediseñar las rutas cuando la demanda se convierte en conocida. Hay, sin embargo, varios problemas con este enfoque, el operador del sistema puede no tener los recursos para hacerlo, o bien, puede ser que este rediseño de rutas no es lo suficientemente importante como para justificar el esfuerzo y el costo requerido.

En lugar de rediseñar las rutas de todos los días se propuso una estrategia diferente para actualizar las rutas: Determinar una secuencia fija a priori entre todos los clientes potenciales. Dependiendo de cuando la información sobre la demanda de un cliente esté disponible se podrán definir dos estrategias diferentes para la actualización de las rutas.

##### **Estrategia a**

Bajo la *estrategia a* el vehículo visita a todos los clientes en el mismo orden como se fija bajo la secuencia a priori, sino que sirve sólo a los clientes que requieran

servicio de ese día. La distancia total recorrida esperada corresponde a la longitud fija de la secuencia, a priori, más el valor esperado de la distancia adicional que debe ser cubierta siempre que la demanda en la secuencia excede la capacidad del vehículo.

### Estrategia b

La *estrategia b* está definida de manera similar a la *estrategia a* con la única diferencia que los clientes que no tienen demanda en un caso particular de la ruta del vehículo simplemente se omiten. Para ilustrar la diferencia entre las dos estrategias se considera el ejemplo de la Figura 1. Si la secuencia a priori es (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 0), el depósito es el nodo 0, el vehículo tiene la capacidad de 3, y la demanda de los clientes es  $D_1 = 0$ ,  $D_2 = 2$ ,  $D_3 = 1$ ,  $D_4 = 0$ ,  $D_5 = 2$ ,  $D_6 = 0$ , entonces bajo la estrategia a las rutas resultantes se muestran en la Figura 1 (izquierda) y el marco de la Estrategia b las rutas resultantes se muestran en la Figura 1 (a la derecha). Tenga en cuenta que en el nodo 3 se alcanza la capacidad y el vehículo se ve obligado a volver al depósito.

Figura 1. Las dos actualizaciones estrategias a y b

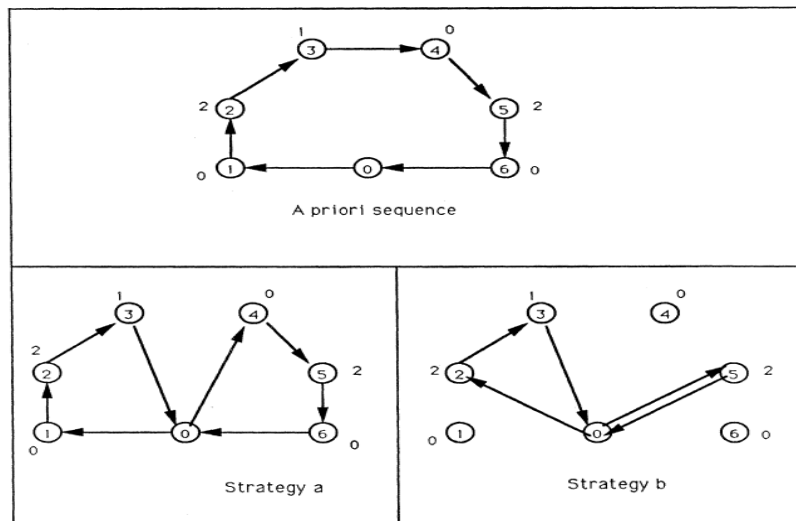


Imagen tomada de Dimitris J. Bertsimas (1992)

Hay una diferencia importante en la filosofía de las dos estrategias de actualización. Las situaciones de unos modelos de estrategia en los que la demanda (si la hay) de cualquier cliente particular se dan a conocer sólo cuando el cliente es visitado. El vehículo se ve obligado a volver al depósito cuando su capacidad es alcanzada. Bajo la *Estrategia b*, Sin embargo, la demanda real se



conoce antes del inicio del recorrido (llamada a los clientes o el operador los llama o en el caso de las entregas de paquetes se conocen las direcciones), por lo que el ahorro puede ocurrir por saltarse ubicaciones de los clientes con una demanda cero. Por supuesto, en la *estrategia b* se supone que la demanda se conoce antes de que el vehículo comienza su recorrido, por lo que es claramente mejor que utilizar una estrategia de re-optimización. Como se ha mencionado, sin embargo, puede haber consideraciones prácticas que hacen la estrategia de re-optimización menos atractiva (recursos informáticos no están disponibles, es mucho tiempo, incluso si se dispone de recursos, la regularidad del servicio, etc.). La pregunta natural que surge es cómo elegir la secuencia a priori. Se propone elegir una secuencia a priori de la mínima longitud total esperada, que corresponde a la longitud total prevista de la serie fija de rutas más el valor esperado de la distancia adicional que pudiera ser requerida por una realización particular de la demanda. Las distancias adicionales serán debido al hecho de que la demanda en la ruta de vez en cuando puede exceder la capacidad del vehículo y forzarlo a volver a la estación antes de continuar su recorrido.

Bajo este enfoque se propone encontrar una solución a priori para el problema, que se actualiza fácilmente cuando la demanda es conocida. Por otra parte, se deriva peor de los casos y los límites promedio de casos para la realización de la estrategia propuesta. También se compara la estrategia de búsqueda de la solución a priori con la estrategia de re-optimización, que es lo mejor que posiblemente se puede hacer. Adicional a esto en el trabajo se consideran distribuciones de demanda discretas arbitrarias.

Gendreau et al. (1996) considera que el problema de ruteo de vehículos con demandas estocásticas (VRPSD) es sin duda el más estudiado de todos SVRPs. Aquí las demandas de los clientes son por lo general variables aleatorias (pero no siempre) asumen ser independientes. Ahora se describen brevemente las principales contribuciones a este problema. Tillman fue el primero que propuso un algoritmo para el VRPSD, en el caso donde hay varios depósitos. Se incurre en sanciones cuando los vehículos están casi vacíos o excedidos en capacidad. El algoritmo propuesto por Tillman está basado en Clarke and Wriqth (1964). Un segundo artículo importante se debe a Stewart y Golden (1983). Contiene extensiones y generalizaciones de los resultados previos de Gheysens, Golden, Stewart and Yee. Un modelo de posibilidad limitada y dos modelos de recurso son presentados. El primero de estos modelos de recurso utiliza una sanción proporcional a la probabilidad de exceder la capacidad del vehículo. En el segundo modelo de recurso la sanción es proporcional al exceso de la demanda esperada sobre la capacidad del vehículo. Varias distribuciones de demanda son

consideradas y dos heurísticas son probadas: una basada en Clarke y Wriqth, y otra basada en una relajación Lagrangeana. Una importante contribución para el estudio de VRPSDs es la tesis de Bertsimas (1988). El autor infiere varios límites, resultados asintóticos y otras propiedades teóricas para el caso donde cada demanda es igual a  $1 - p_i$ . Un número codicioso de heurísticas son propuestas y analizadas en un sentido asintótico. En el estudio de Laporte, Lorveaux and Mercure (1989), la localización del depósito es también es una variable de decisión. Este artículo considera más general la distribución de demandas. Derivación exacta, algoritmos cortos son presentados para la versión de posibilidad limitada del problema y para un modelo de sanción limitada en el que el costo esperado de recurso no puede exceder un cierto porcentaje del valor de la primera etapa de la solución. Los resultados computacionales son presentados para problemas de participación de hasta 30 vértices. La tesis de Séguin y el artículo de Gendreau, Laporte and Séguin (1995) describe un algoritmo entero en forma de L para el modelo de recurso donde la función de penalización es el costo de los viajes de ida y vuelta al depósito debido a los fallos de ruta. Según el valor de algunos parámetros el problema puede ser resuelto a optimalidad hasta para 70 vértices. Finalmente referirnos al estudio del artículo de Dror, Laporte and Trudeau (1989) que describe una variedad de operaciones y políticas de servicio, propiedades y modelos para el VRPSD. Estos autores demostraron que como en el caso del TSPSC las rutas óptimas pueden cruzarse.

Michael A. Haughton et al. (1999) proponen una investigación donde se analiza el costo-beneficio de aplicar una estrategia de reoptimización para superar la escases de suministros. La pregunta central de la investigación plantea la siguiente “¿Cómo se puede superar la escasez de suministro, y cuáles son las consecuencias financieras de las estrategias para superarlos?”

Claramente una de las estrategias consiste en la solución del VRP diariamente para encontrar las rutas de minimización de costos para cada día, es decir, reoptimización de la ruta. Comparado con el “no hacer nada” opción de ignorar las fluctuaciones de la demanda, esta sensible estrategia de demanda no sólo elimina la escasez de suministro (suponiendo un inventario adecuado en el depósito), sino que también requiere los mismo o menos recursos de transporte. Estas mejoras requieren un sistema de información eficiente para apoyar la operación de reoptimización. Por ejemplo, cada día, el depósito debe entrar/cargar los datos de la demanda a su algoritmo VRP, ejecute el algoritmo, luego difundir la información de salida correspondiente al personal apropiado para asegurar que se siguen las rutas correctas. Además, los datos de la demanda diaria deben ser recibidos lo

suficientemente temprano o las tareas que deben completarse antes de que se envíen los vehículos de reparto. Se asume que la información de costos (sistema) es asumida para incluir no sólo los costos ya mencionados como necesarios para re-optimización pero también los costos indirectos del resultado de ineficiencias de conductores teniendo en cuenta el cambio en la frecuencia de sus rutas de entrega.

Estos costos directos e indirectos de re-optimización de ruta pueden hacer deseable utilizar un arreglo de conjunto de rutas de cada día en la eliminación de la escasez de suministro. Esta estrategia requiere el inventar teoría de memoria intermedia en cada ruta (el exceso de capacidad del vehículo o de la cantidad entregada sobre la demanda promedio en la ruta) para ser adecuada para el nivel de probabilidad más alto de la demanda. Por lo tanto, la demanda media en cada ruta debe ser inferior a lo que tendría que ser si la demanda no fluctuara. En consecuencia, el número de vehículos (rutas) y la distancia total que viajan será mayor, lo que resulta en mayores costos de transporte. Así, en relación con re-optimización ruta, esta estrategia de enrutamiento estático, básicamente sustituye transporte e inventario para obtener información.

Modelos de predicción exacta fueron desarrollados y combinados con modelos establecidos de teoría de probabilidad para presentar un marco para comparar los enfoques en términos de inventario, transporte y costos de información. Además de los modelos de predicción de la distancia y el marco comparación, una contribución clave de la investigación es que determina la información de umbrales de costos para aceptar / rechazar la re-optimización de ruta. Los umbrales muestran que el enfoque de ignorar las fluctuaciones de la demanda en el diseño de la ruta puede ser rentable bajo ciertas circunstancias.

Nicola Secomandi (2000) considera una versión del problema de ruteo de vehículos con demandas inciertas. En su trabajo estudia la idoneidad de la emergencia de la programación neuro – dinámica (NDP) en la provisión de este problema de optimización combinatoria. El artículo compara el desempeño de dos algoritmos NDP: una política optimista de iteración aproximada y una política de despliegue. Mientras la primera mejora el rendimiento de una política de vecino más cercano en un 2,3 %, los resultados computacionales indican que la política de despliegue genera soluciones de mayor calidad.

El objeto de estudio de la investigación es la aplicabilidad de los algoritmos de programación neuro – dinámica al problema de enrutamiento de un solo vehículo

con demandas estocásticas. El trabajo se ocupa de una variación en que las demandas de los clientes son inciertas y se supone que siguen una distribución de probabilidad discreta dada.

La Programación Neuro – Dinámica (NDP) es una metodología diseñada para hacer frente a los problemas de Programación Dinámica (DP) grandes o complejos. En la investigación se analizan dos tipos de algoritmos: una política optimista de iteración aproximada y una política de despliegue. El experimento computacional muestra que la política de despliegue supera la iteración optimista y la política aproximada. Los mejores porcentajes son sustanciales y coherentes en todos los casos utilizados en el experimento. El rendimiento de la política de despliegue es bastante impresionante, si se considera la simplicidad del algoritmo. La política de despliegue es un algoritmo robusto que mantiene la promesa para una aplicación exitosa para situaciones de negocios VRP.

Yupo Chang et al. (2001) formulan un múltiple depósito, múltiple vehículos, para un problema de enrutamiento de ubicación con demandas estocásticamente procesadas. Se propone un modelo integral y un método de solución para esta clase de problemas. Una característica única de este modelo es que se reconoce que en entregas de hoy justo a tiempo, se quiere pedir exactamente lo que se prevea para evitar excedentes de inventario o faltantes. Sin embargo, las demandas suelen ser muy inciertas, ya que el proceso de fabricación está plagado de incertidumbre. La investigación presenta una forma innovadora de representar este fenómeno que es una desviación de la literatura tradicional.

Los autores proponen un caso complejo que consta de múltiples depósitos, múltiples vehículos, y la participación de ambas decisiones de localización y enrutamiento; a su vez se generan a través de un proceso de gestión de colas en los sitios de demanda. Problemas más dinámicos reparadores itinerantes tratan a los vehículos como los servidores que responden a las demandas inciertas en la red, y los vehículos se ponen en cola para las demandas adicionales en espera de servicio. Aquí las demandas se sirven en un nodo de demanda no por un vehículo, sino por una instalación en ese nodo. Los vehículos simplemente obedecen a las demandas adicionales cuando en el nodo han sido debidamente procesadas.

En la investigación se formula un problema de ruteo de localización estocástica (SLRP) en el que los valores esperados de las demandas estocásticas (llamadas demandas probables) son generados por una red de colas en cada región de servicio. Los vehículos de reparto simplemente entregan las demandas probables para ser procesadas en los nodos de la región, cuando un centro nodal es

despejado. Como punto de partida, se formula la completa localización – múltiple – depósito y el múltiple – problema de ruteo de vehículos para una instancia determinista del problema. Este modelo sirve como el límite inferior para los propósitos heurísticos de validación, al menos para redes pequeñas. También se proporciona una formulación estocástica, llamada el problema estocástico múltiple – vehículo – enrutamiento de múltiples instalaciones de ubicación, en el que las demandas probables son atendidas. A través del hilo conductor de los ahorros desigualdad triangular \* se prestan a ser resuelta mediante heurística. La curva de relleno del espacio tridimensional (SFC) ataca el modelo estocástico mientras que un procedimiento de Clarke Wright extendido resuelve los casos deterministas. Se refieren a ellos como una optimización *a priori* y *a posteriori*, respectivamente.

Shangyao Yan et al. (2005) establecieron un modelo de programación de demanda estocástica. Se aplicó una técnica de simulación, junto con estrategias de enrutamiento basadas en rutas basadas en vínculo y, para desarrollar dos algoritmos heurísticos para resolver el modelo. Para evaluar el rendimiento del modelo propuesto y los dos algoritmos de solución, se ha desarrollado un método de evaluación. Los resultados de la prueba, con respecto a una importante operación de autobús interurbano de Taiwán, fueron buenos, demostrando que el modelo y los algoritmos de solución podrían ser útiles en la práctica.

Consideran las perturbaciones estocásticas de diversas demandas de pasajeros que se producen en las operaciones reales, se establece un modelo de programación de demanda estocástica, SDSM, basado en un modelo de programación de demanda determinista, DDSM. También se emplea una técnica de simulación, junto con las estrategias de enlace y de enrutamiento basado en las rutas, para desarrollar dos algoritmos de solución, el algoritmo heurístico basado en el enlace LBHA y el algoritmo heurístico basado en la ruta PBHA. Para comparar el rendimiento de la SDSM y el DDSM bajo las demandas estocásticas que ocurren en operaciones reales, se ha desarrollado además un método de evaluación basado en la simulación. Pruebas numéricas, incluyendo dos análisis de sensibilidad en la media y la desviación estándar de la demanda de pasajeros, se realizaron para evaluar la SDSM y DDSM. El modelo, el algoritmo de solución y los resultados de las pruebas deberían servir de referencia útil para los planificadores de transporte y los operadores.

Dag Haugland et al. (2006) consideran el problema de diseñar los distritos para los problemas de rutas para vehículos con demandas estocásticas. En particular, las demandas se supone que son inciertas en el momento en que se realizan los distritos, y éstos se revelan sólo después de que se determinan las decisiones de

distritación. Se desarrollan y se comparan la búsqueda tabú y la heurística de inicios múltiple para este problema de distritación estocástico. Los resultados computacionales muestran que la búsqueda tabú es superior sobre los inicios múltiples.

Se considera que el problema de la partición de un grupo de clientes en un máximo de  $m$  distritos contiguos de tal manera que todos los clientes dentro del mismo distrito son atendidos por el mismo vehículo. La asignación de clientes a los distritos es fija, incluso si hay una solución de distrito diferente podría resultar más rentable si se ha producido un patrón de demanda diferente. Se observa la demanda real sólo después de que los distritos se han definido, y un plan de viaje que debe ser producido dentro de cada distrito. Este enfoque tiene sentido desde un punto de vista empresarial, ya los límites del distrito tienden a seguir siendo la misma a través del tiempo, mientras que la demanda del cliente varía de día a día. Esas situaciones se producen comúnmente en contextos en los distritos de entrega se fijan y se definen mediante la agrupación de unidades más pequeñas, tales como áreas de código postal. La idea de tener distritos suele estar motivado por la necesidad de los pilotos a tener conocimiento de su área y la base de clientes. Distritos de distribución de paquetes y muebles son los principales ejemplos de este tipo de arreglo.

Las soluciones que cumplen este objetivo consisten normalmente en barrios dejando una buena cantidad de flexibilidad en las decisiones de encaminamiento, es decir la capacidad de adaptarse a la demanda real. La partición más flexible de los clientes es, obviamente, obtenida mediante la definición de un distrito con todo incluido y los otros se dejan vacíos. Sin embargo, esto daría lugar a costos de viaje esperado extremo de un distrito, mientras que no habría ningún costo asociado con los otros en orden para equilibrar los distritos de manera más uniforme, que imponer la restricción de que los distritos tienen que ser construidos de tal manera que el costo real de viaje dentro de cada distrito no supera un determinado límite superior. Sin esa limitación la solución planeada siempre consistiría en un solo distrito, lo cual no tiene sentido mucho más práctico.

Christian H. Christiansen et al. (2007) presentan un nuevo algoritmo exacto para el problema de ruteo de vehículos capacitados con demandas estocásticas (CVRPSD). El CVRPSD puede formularse como un problema conjunto de particiones y se demuestra que la generación de columnas asociada sub-problema se pueden resolver utilizando un esquema de programación dinámica. Experimentos computacionales muestran resultados prometedores.

En este artículo se considera que el problema de ruteo de vehículos capacitados con demandas estocásticas (CVRPSD). CVRPSD difiere del problema de ruteo de vehículos capacitado CVRP con respecto a los siguientes puntos:

1. En el CVRPSD, las demandas de los clientes son variables estocásticas en las que la probabilidad de distribución para cada cliente se supone conocida en el momento de la planificación.
2. En el CVRPSD el costo de viaje total esperado está sujeto a la minimización.
3. En el CVRPSD, la demanda real total en una ruta puede exceder la capacidad del vehículo. En tales casos, podría haber una falla. Se requiere una estrategia para la actualización de las rutas en caso de tal evento. La acción real resultante de esta estrategia se denomina acción de recurso. La estrategia en particular afecta el costo esperado de una ruta determinada, por lo que la estrategia ser conocida en el momento de la planificación.

El CVRPSD no ha recibido casi el mismo nivel de atención como el CVRP. En la literatura varias razones se dan por qué se presta atención limitada para la CVRPSD. El más importante de ellos podría ser el hecho de que el problema CVRP en sí mismo es muy difícil resolver, y la adición de una dimensión estocástica para el problema sólo aumenta la inflexibilidad.

Clara Novoa et al. (2008) en su investigación examinan los algoritmos de programación dinámica aproximados para el problema de enrutamiento de un solo vehículo con demandas estocásticas desde una perspectiva dinámica o de re-optimización. Los métodos extienden el algoritmo de despliegue mediante la aplicación de diferentes secuencias de bases (es decir, soluciones *a priori*), las políticas de anticipación y esquemas de plantación. El documento también considera el cálculo de la relación coste - de - ida con la simulación de Monte Carlo, además de enfoques directos. El mejor método recién descubierto es un despliegue de búsqueda anticipada de dos pasos comenzó con una secuencia de bases estocástico. El costo de enrutamiento es de aproximadamente 4,8 % menos que el algoritmo de despliegue de un solo paso se inició con una secuencia determinista. Los resultados también muestran que el costo de Monte Carlo para ir estimación reduce el tiempo de cálculo 65% en grandes casos con poca o ninguna pérdida en la calidad de la solución. Por otra parte, el artículo compara resultados para el caso de información perfecta de la solución exacta a posteriori soluciones para los problemas de enrutamiento de vehículos incluidos en la muestra. El intervalo de confianza para la diferencia media global es de (3.56 %, 4.11 %).

El trabajo presenta tres contribuciones principales. La primera es el desarrollo de un algoritmo de despliegue en dos etapas que proporciona soluciones de 1,6 % más económicas que el algoritmo de despliegue de un solo paso. El segundo es el uso de la simulación Monte Carlo (MCS) para el cálculo de la actualización secuencias de bases espera que el costo como una alternativa para el cálculo exacto de Secomandi (1998, 2000, 2001). Se demuestra que la MCS puede reducir el tiempo de cálculo total en alrededor del 65 % para las grandes ocasiones. La tercera contribución es el desarrollo de una mejor secuencias de bases y esquemas de podar que conduce a una reducción de costes de alrededor de 4 % sobre los métodos anteriores. El mejor método de despliegue evidencia las ventajas de vincular enfoques *a priori* y dinámicas para VRPSD.

A. Tatarakis et al (2008) estudian el encaminamiento de un único vehículo que ofrece múltiples productos bajo demanda estocástica. En concreto, se investigan dos variaciones prácticas de este problema: (i) El caso en el que cada tipo de producto se almacena en su compartimiento especial en el vehículo, y (ii) el caso en que todos los productos son almacenados juntos en un solo compartimiento del vehículo. Se proponen algoritmos de programación dinámica adecuados para determinar el mínimo esperado (ruteo) de costos para cada caso. Por otra parte, la política de enrutamiento óptimo se obtiene mediante el desarrollo de teoremas apropiados. La eficiencia de los algoritmos se estudió mediante la resolución de grandes conjuntos de problemas.

En la investigación se aborda un caso especial de la entrega: se considera un solo vehículo que presta servicios a clientes en una secuencia predefinida, se permite que el vehículo regrese al depósito de reabastecimiento de inventario. Las demandas de los clientes son al azar y son modeladas por las variables independientes con estadísticas conocidas (derivados de los datos históricos). Las distancias o tiempos de viaje, entre todos los puntos de la red (los depósitos y los sitios de los clientes) se conocen. Las cantidades de productos cargados en el vehículo están limitados por las capacidades adecuadas, que no pueden ser superados. El vehículo vuelve a la estación con el fin de rellenar si es necesario.

Una vez finalizado el servicio en cada cliente, el conductor tiene que tomar una decisión: (a) Proceder al próximo cliente, siempre y cuando la probabilidad de ser capaz de satisfacer plenamente su demanda (para todos los productos) es aceptable y la distancia correspondiente (es decir, la distancia desde el lado del cliente al depósito) es favorable; (b) volver a la estación con el fin de rellenar, y reanudar la ruta visitando el siguiente cliente en la secuencia predefinida. Si el



vehículo pasa al siguiente cliente, pero la demanda real de este cliente resulta ser más alta que el inventario llevado a bordo (para cualquier producto), el vehículo entregará tanto como sea posible, y luego irá a la estación para volver a llenar, y volver al cliente para satisfacer plenamente su demanda.

Las aplicaciones prácticas del problema de ruteo de vehículos estocástico con regresos al depósito SVRDRP pueden surgir en diferentes contextos. Un buen ejemplo es el modelo de entregas de Ex–van, en el que durante cada visita al cliente el conductor vende y ofrece productos de alta demanda para los puntos de venta simultáneamente. El concepto detrás de Ex–van de las entregas es facilitar el normal reabastecimiento de existencias de ciertos tipos de productos, por lo que la salida (supermercado, quiosco, etc.) puede maximizar sus ventas. La misión de cada vehículo Ex–van es visitar todos los sitios de los clientes asignados, por lo general en una secuencia predefinida, y reabastecer las existencias de productos seleccionados. La demanda de cada punto de cliente no se conoce de antemano sino que se revela a su llegada. Por lo tanto, la demanda total de una secuencia programada de clientes normalmente supera la capacidad total del vehículo para un artículo en particular, forzando al vehículo para volver a la estación con el fin de reponer sus propias existencias, antes de reanudar su ruta.

Además del medio ambiente Ex–van, características de suministro similares también pueden surgir en otros entornos prácticos. Por ejemplo, los sistemas de manejo de materiales en un taller de fabricación a menudo operan a lo largo de caminos fijos que conectan el depósito de material con centros de trabajo ubicados a lo largo de estas vías. Se considera el caso de sistemas de vehículos automatizados guiados (AGVs), que son vehículos autopropulsados normalmente guiados a lo largo de una franja de inducción magnética, o una banda pintada en el piso del taller, y el transporte de múltiples partes discretas a centros de trabajo, obviamente, en una secuencia predefinida. Teniendo en cuenta que, además de la vía principal que conecta los centros de trabajo, hay espuelas que conectan cada centro de trabajo con el almacén de material, lo que permite el retorno y la recarga del AGV. En este caso, la demanda también puede ser estocástica, dependiendo del estado de los amortiguadores que los centros de trabajo han servido.

El SVRDRP para un solo producto ha sido estudiado por Yang et al. (2000). En esta investigación, se estudia la SVRDRP por dos casos de entregas múltiples de productos y se desarrollan (a) algoritmos para determinar el costo de enrutamiento mínimo esperado y (b) las políticas que permitan al conductor del vehículo tomar

las decisiones óptimas después de servir a cada cliente en base a la nivel de las existencias a bordo.

Cao Erbao et al. (2009) considera en su investigación el problema de ruteo de vehículos con demandas difusas (VRPFD) y se diseña un modelo de programa de probabilidad restringida basado en la credibilidad de la teoría de la lógica difusa. Aquí, el algoritmo de simulación estocástica y la evolución diferencial se integran para diseñar un algoritmo inteligente híbrido que ayude a resolver el modelo de programa de probabilidad restringida difusa.

Por otra parte, se discute el uso de la simulación estocástica en la influencia del índice de preferencia del despachador en el objetivo final del problema, obteniendo de paso el mejor valor de la operadora.

En su investigación la información acerca de la demanda en cada cliente a menudo no es lo suficientemente precisa. Basándose en la experiencia, se puede concluir que la demanda de un cliente es “de cerca de 50 unidades”, “entre 20 y 60 unidades”, etc. En general, se pueden utilizar variables difusas para hacer frente a estos parámetros inciertos, como fue presentado por primera vez en D. Teodorovic et al. (1996) en el VRP, Cheng et al. (1995) quienes utilizaron un algoritmo genético para resolver el problema de enrutamiento de vehículo en el tiempo-debido difuso.

En ese documento, ellos adoptan, en primer lugar, un algoritmo de evolución diferencial para resolver problemas de rutas para vehículos con demanda difusa, pues puede ayudar a resolver la contraparte determinista en la que el VRPFD considera una amplia gama de limitaciones más complejas.

Su investigación contribuyó a al problema de enrutamiento de vehículos con demanda difusa en los siguientes aspectos: (a) Se propuso un VRPFD basado en la teoría de la credibilidad, (b) Se integró la simulación estocástica y los algoritmos de evolución diferencial para diseñar un algoritmo inteligente híbrido que resolviera el problema, centrándose en la minimización total de la distancia recorrida; (c) el índice de preferencia del despachador, influenciado en gran medida por la longitud de las rutas y las distancias recorridas previstas por los vehículos adicionales debido a fallas en los clientes y de obtuvo el “mejor” valor del parámetro  $Cr^*$  del algoritmo híbrido propuesto; (d) la eficacia del algoritmo inteligente híbrido se muestra por algunos ejemplos numéricos.

A. Juan et al. (2010) proponen una metodología de solución flexible para el problema de ruteo de vehículos con demandas estocásticas (VRPSD). La lógica

detrás de esta metodología es la de transformar el tema de la resolución de una instancia VRPSD dada en un tema de la resolución de un pequeño grupo de casos de problemas de enrutamiento de vehículo capacitados (CVRP). Por lo tanto, este enfoque se aprovecha del hecho de que las metaheurísticas extremadamente eficientes para la CVRP ya existen. Las instancias CVRP se obtienen de la instancia original VRPSD asignando diferentes valores al nivel de existencias de seguridad que los vehículos enrutados deben emplear para hacer frente a demandas inesperadas. La metodología también hace uso de la simulación de Monte Carlo (MCS) para obtener estimaciones de la fiabilidad de cada solución apriorística - es decir, la probabilidad de que ningún vehículo se quede sin carga antes de completar su recorrido de entrega - así como los costos esperados asociados con acciones correctivas de enrutamiento (acciones de recurso) después de que un vehículo se queda sin carga antes de completar su ruta. De esta manera, se obtienen estimaciones de costos totales esperados de las diferentes alternativas de encaminamiento. Por último, un extenso experimento numérico está incluido en el papel con el fin de analizar la eficiencia de la metodología descrita en diferentes escenarios de incertidumbre.

Esta investigación tiene como objetivo reducir la probabilidad de ocurrencia de situaciones indeseables a un valor razonable de acuerdo a la función de utilidad del decisor. En otras palabras, su metodología propone la construcción de soluciones fiables, es decir, soluciones con baja probabilidad de sufrir fallas de ruta. Esto se logra básicamente mediante la construcción de rutas en las que la demanda esperada asociada será algo menor que la capacidad del vehículo. En particular, la idea es mantener una cierta cantidad de excedentes de capacidad del vehículo (tampón de seguridad), mientras que en el diseño de las rutas de manera si las demandas de las rutas finales exceden sus valores esperados, hasta un cierto límite, pueden ser resueltas sin incurrir en una ruta fracaso. Por supuesto, existe un compromiso entre la fiabilidad y los costes de la reducción al mínimo y, por tanto, un equilibrio óptimo se debe establecer para estos dos factores, que es uno de los principales objetivos de la metodología presentada. La idea en sí no es nueva en la literatura. Sungur et al. (2008), por ejemplo, construyeron un enfoque de solución robusta para la VRPSD mediante una gestión adecuada de la capacidad del vehículo en comparación con una distribución uniforme y no uniforme de esa holgura sobre todos los vehículos considerados. Sin embargo, mientras que su objetivo fue encontrar una solución robusta que optimice el peor valor de los casos de incertidumbre de los datos, el objetivo de este trabajo es encontrar soluciones fiables con costos totales esperados óptimos o casi óptimos en diferentes escenarios de incertidumbre.

D.G. Pandelis et al. (2011) Consideran el problema de encontrar la ruta óptima de un único vehículo que ofrece  $K$  diferentes productos a los clientes  $N$  de acuerdo a un pedido de un cliente en particular. Las demandas de los clientes de cada producto se supone son variables aleatorias con distribuciones conocidas. Cada tipo de producto se almacena en su compartimiento especial en el vehículo. En el uso de un algoritmo de programación dinámica adecuada encontramos la política que satisfaga las demandas de los clientes con el costo esperado total mínimo. También demostramos que esta política tiene una estructura de tipo umbral específico. Por otra parte, se investiga un problema del horizonte de tiempo infinito correspondiente al que el servicio de los clientes no se detiene cuando el último cliente se ha mantenido sino que continúa indefinidamente con el mismo orden del cliente. Se supone también que las demandas de los clientes en diferentes tours tienen las mismas distribuciones. Se muestra que el costo descontado política óptima y la política óptima de costos promedios tiene la misma estructura de tipo umbral como la política óptima en el problema original. Los resultados teóricos se ilustran mediante ejemplos numéricos.

Babak Farhang Moghaddam et al. (2011) proponen en su investigación un algoritmo avanzado de optimización de enjambre de Partículas (PSO) para resolver problemas de ruteo de vehículos con demandas inciertas. Un esquema de decodificación también ha sido desarrollado para aumentar la eficiencia del PSO. Experimentos computacionales completos, junto con las comparaciones con otros algoritmos existentes, se han previsto para validar los algoritmos propuestos.

En su trabajo, se aplica un enfoque novedoso de Optimización de Enjambre de Partículas (PSO) para resolver el CVRP teniendo demandas estocásticas sin distribuciones conocidas. Desde PSO resuelven problemas con variables continuas y el VRP es un problema de optimización combinatoria, se necesita un método de decodificación para aplicar PSO para resolver el VRP. Han desarrollado un método de decodificación novedoso para la interpretación de las soluciones de PSO para la VRP. El método de decodificación M1 propuesto incluye tres operadores de búsqueda local en un bucle de estimulación del nervio vago con el fin de mejorar significativamente la calidad de las soluciones. Se ha probado contra dos métodos de descodificación recientes y el estado de la técnica de Ai y Kachitvichyanukul (2009). Los resultados muestran claramente que el enfoque propuesto es un método de PSO superior y preferible en algunos casos CVRP. El enfoque propuesto PSO conjunto también ha sido probado para el estocástico VRP (SVRP). Los resultados muestran que las soluciones de este

algoritmo son aplicables en problemas de mayor escala y se resisten a las perturbaciones en un grado aceptable. Aunque el algoritmo robusto exacto da soluciones sin ningún tipo de demandas insatisfechas, el método propuesto (incluso con algunas demandas insatisfechas) tiene un costo menor robustez. Además, en todos los casos, el método propuesto ha producido una solución factible mientras que el otro método no tiene (en muchos casos).

Yannis Marinakis et al. (2013) presentan en su estudio un nuevo enfoque híbrido de algoritmos basados en optimización por enjambre de partículas (PSO) para resolver con éxito uno de los problemas más populares de gestión de cadena de suministro, el problema de ruteo de vehículos con demandas estocásticas (VRPSD).

En su investigación demuestran como una técnica inteligente inspirada, la optimización con enjambre de partículas (PSO) J. Kennedy et al. (1995) dos metaheurísticas de búsqueda local simples (2-opt y 3-opt) y volver a vincular el camino estratégico F. Glover et al. (2003) pueden ser constituidas en un esquema híbrido, con el fin de dar muy buenos resultados para el (VRPSD). Un número de diferentes variantes de se ponen a prueba y la que ofrece el mejor rendimiento en una serie de pruebas se utiliza para todo el conjunto de las instancias de prueba y por las comparaciones con otras técnicas de optimización evolutiva.

**Tabla 1. Las contribuciones al problema de ruteo de vehículos con demandas estocástica**

<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Distribución de la demanda <sup>a</sup></b>	<b>Modelo <sup>b</sup></b>	<b>Características y contribuciones</b>
Tillman	1969	$P (\lambda = 2)$	-	Heurística Ahorros, multi-depósito.
Oro, Stewart	1978	$P (\lambda_i)$	CCP	Heurística Ahorros (Sanción equivalente a la suma de los viajes de regreso).
Oro, Yee	1979	B, NB, G	CCP	Heurísticos, demandas correlacionadas, resultados teóricos.
Yee, Golden	1980	Cualquier	-	La programación dinámica para planificar los viajes de regreso preventivos.

Stewart, de oro	1980	-	CCP	Extensión de Golden y Stewart (1978).
Stewart	1981	-	SPR	Ph.D. tesis. Heurística y método Lagrangeano.
Stewart, de oro, Gheysens	1982	N	SPR	Continuación de Stewart y de oro (1983), heurística.
Stewart, de oro	1983	Varios	CCP, SPR	Modelo, heurística ahorro, el método de Lagrange, estudio.
Bodin, Golden, Assad, Bola	1983	Varios	CCP	Transformación de SVRP en VRP determinista.
Dror, Trudeau	1986	Cualquier N	CCP, SPR	Propiedades, heurísticas de ahorro.
Jaillet	1987	Ber ( $P_{i=}$ P) podría ser generalizada	-	Un vehículo, 0-1 demandas, propiedades.
Bertsimas	1988	Ber	-	Ph.D. tesis. Un vehículo, 0-1 demandas, propiedades heurísticas con el rendimiento del peor caso.
Jaillet, Odoni	1988	Ber ( $P_{i=}$ P) podría ser generalizada	-	Un vehículo, 0-1 demandas, propiedades.
Laporte, Louveaux, Mercure	1989	Varios	CCP, BPM	Ubicación de depósito variable, relajación de restricción exacta Algoritmos, $n \leq 30$ ; modelo de sanción acotado.
Dror, Laporte, Trudeau	1989	Cualquier	CPP, SPR, M	Propiedades, modelos, estudio.
Aguas	1989	Cualquier	SPR	Modelo.
Laporte, Louveaux	1990	Cualquier	SPR	Modelo, los límites, los viajes de regreso preventivos.
Bertsimas, Jaillet, Odoni	1990	Ber ( $P_{i=}$ P)	-	Un vehículo, 0-1 demandas, propiedades heurísticas.

				Extraído de Bertsimas (1988).
Dror	1992	Cualquier	SPR, M	Modelo
Bouzdienne-Ayari, Dror, Laporte	1993	Cualquier	-	Heurística de Ahorro, entregas divididas.
Bastian, Rinnooy Kan	1992	Cualquier	CCP, SPR	Modelo: tiempo-dependiente problema del agente viajero
Bertsimas	1992	Discreto	-	Propiedades, límites, heurísticas. Citas y generalizaciones de Bertsimas (1988).
Dror, Laporte, Louveaux	1993	Cualquier	CCP, SPR	Fallos restringidos. Modelos, heurísticas y algoritmos exactos.
Seguin	1994	Discreta continua	SPR	Ph.D. tesis. Entero exacto Algoritmo en forma de L para el caso discreto, $n \leq 70$ .
Gendreau, Laporte,	1995	Discreto	SPR	Extraído de Séguin (1994).

Tomada de Gendreau et al. (1996)

<sup>a</sup> P: Poisson; B: binomial; NB: negativo binomial; G: gamma, N: normal; Ber: Bernoulli.

<sup>b</sup> CCP: Programación de posibilidad restringida; SPR: Programación de recurso estocástico; BPM: Modelo de sanción acotado; M: Modelo de Markov

#### 4.2.1.2 El Problema de Ruteo de Vehículos con Clientes Estocásticos (VRPSC)

Gendreau et al. (1996) describe el problema de ruteo de vehículos con clientes estocásticos (VRPSC) como una extensión directa de la TSPSC: Los clientes están presentes con cierta probabilidad, pero tienen demandas determinísticas. La capacidad de los vehículos debe ser respetada y los viajes de regreso al depósito pueden ser necesarios cada vez que se alcanza el tope del vehículo. Como en el TSPSC los clientes ausentes son saltados en la segunda etapa de la solución. Todos los artículos, excepto uno sólo tratan el caso de las demandas unitarias. La mejor fuente de información sobre este problema es la tesis de Bertsimas (1988),

que describe varias propiedades, límites y heurísticas. Waters (1989) considera las demandas no binarias y propone una comparación empírica de tres políticas de operación (1) Seguir la ruta planificada sin saltar clientes ausentes; (2) Saltar clientes ausentes; (3) Re-optimizar la ruta restante siempre que la ausencia de un cliente es revelada.

Dos propiedades interesantes se destacan y se aplican tanto a la VRPSD y la VRPSC. (1) Incluso si los costos de viaje son simétricos (i.e.  $c_{ij} = c_{ji}$  for all  $i, j$ ), el costo de la eficacia general de la solución es dependiente del sentido de la marcha (Dror y Trudeau, 1986; Jaillet y Odoni, 1988). (2) Capacidades de transporte más grandes pueden producir mayores costos en la solución (Jaillet y Odoni, 1988).

Jiuh-Biing Sheu (2006) propone un trabajo donde presenta una optimización de cliente difuso para agrupar una metodología de distribución logística basada en responder rápidamente a una variedad de demandas de los clientes. La metodología propuesta posee tres mecanismos principales: (1) la clasificación de los clientes antes de la ruta, utilizando técnicas de agrupamiento difuso, (2) la determinación de la prestación de servicios a clientes, basada en la prioridad para cada grupo y (3) una ruta de reparto de mercancías utilizando métodos de programación de optimización multi-objetivo que está basada ante todo en vías de clasificación de los clientes antes de la ruta, en las órdenes de los grupos de métodos propuestos de los clientes principalmente en los atributos múltiples de las demandas de los clientes, y no por atributos geográficos estáticos, que podrían traducirse en vehículos clásicos de enrutamiento de algoritmos. Utilizando el método propuesto, se muestra que el rendimiento global de un sistema de distribución logística puede ser mejorado en más de un 20 %, de acuerdo con los resultados.

En su estudio se refiere a las tareas llevadas a cabo para integrar las fases de clasificación de los clientes antes de la ruta y la entrega de las mercancías del grupo de base resultante, en lugar del desarrollo de algoritmos específicos contra el VRP. En este caso, se propone una metodología de distribución logística grupal para cada cliente integrando tres fases operativas, que incluyen (1) la clasificación de los clientes pre-ruta, (2) la determinación de los grupos de clientes con prioridad a la prestación de servicios, y (3) la ruta de reparto de mercancías. En la fase de rutas de clasificación de los clientes, se emplean los principios de las tecnologías de grupo difuso para desarrollar el algoritmo correspondiente con el objetivo de que la agrupación se dé bajo los atributos de demandas de los clientes pues estos varían en el tiempo, y son difíciles de cuantificar completamente.



Luego, utilizando enfoques de programación multi-objetivos, el servicio prioridad asociada a cada grupo de clientes y estrategias de ruteo de vehículos correspondientes, son determinados en las segunda y tercera fases, respectivamente, donde se especifica cada ruta de vehículo para servir a los clientes asignados para un grupo de clientes dado.

Géraldine Heilporn et al. (2011) consideran el problema de un solo vehículo Dial-a en el que los clientes pueden experimentar retrasos estocásticos en los lugares de recogida. Si un cliente está ausente cuando el vehículo sirve la ubicación de recogida, la solicitud es realizada por un servicio alternativo (por ejemplo, un taxi), cuyo coste se añade al coste total de la excursión. En este caso, el vehículo se salta la ubicación de entrega correspondiente, que produce una reducción en el coste total de la excursión. El objetivo del problema es determinar a priori un recorrido hamiltoniano minimizando el costo esperado de la solución. Este problema se resuelve por medio de un algoritmo en forma de L número entero. Experimentos computacionales muestran que el algoritmo produce soluciones óptimas en varios casos dentro de los tiempos de CPU razonables. También se muestra que el coste real de una solución óptima obtenida con este algoritmo puede ser significativamente menor que el de una solución óptima obtenida con una formulación determinista.

**Tabla 2. Las contribuciones al problema de ruteo de vehículos con clientes estocásticos**

<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Características y contribuciones</b>
Jézéquel	1985	M.Sc. disertación. Noción de riesgo. TSP basado en una heurística descrita.
Jaillet	1987	Propiedades, distribuciones parcialmente generalizadas de la presencia de los clientes.
Jaillet, Odoni	1988	Extraído de Jaillet (1987).
Bertsimas	1988	Ph.D. tesis. Propiedades, límites, resultados asintóticos y heurísticas con peor - rendimiento de los casos.
Aguas	1989	Demandas no binarias. Comparación de tres políticas de operación.
Bertsimas, Jaillet, Odoni	1990	Estudio de Jézéquel (1985), Jaillet (1987), Bertsimas (1988) y Jaillet y Odoni (1988).
Bertsimas	1992	Extraído de Bertsimas (1988).

Tomada de Gendreau et al. (1996)

#### 4.2.1.3 El Problema de Ruteo de Vehículos con Clientes y Demandas Estocásticas (VRPSCD)

Gendreau et al. (1996) consideraron una versión del problema de ruteo de vehículos estocástico donde los clientes están presentes en lugares con ciertas probabilidades y tienen demandas aleatorias. Este problema, denotado por la abreviatura VRPSCD, combina dos tipos de incertidumbre: demandas estocásticas y clientes estocásticos. Cada cliente  $v_i$  está presente con probabilidad  $p_i$  y tiene una demanda estocástica  $\xi_i$ . Cuando  $v_i$  está ausente, esta demanda es cero.

Se supone que todas las demandas son discretas e independientes. En el VRPSCD, se construye en **una primera etapa** un conjunto de  $m$  rutas a priori iniciando y finalizando en el depósito y de manera que cada cliente es visitado exactamente una vez. La presencia o ausencia de un cliente es revelada como muy tarde a la salida del cliente anterior, pero el valor de cada demanda se da a conocer sólo a su llegada a la ubicación del cliente. En **una segunda etapa**, las rutas a priori son seguidas según lo planeado, excepto que cualquier cliente ausente es omitido, esto define un primer tipo de acción de recurso.

Un segundo tipo de recurso surge cuando la capacidad del vehículo es superada: el vehículo entonces regresa a la estación de descarga y reanuda colecciones en el último cliente visitado, si la capacidad del vehículo es alcanzada exactamente en el sitio de un cliente, entonces el vehículo se reanudará colecciones en el próximo cliente presente en su ruta después de la descarga. En cualquier caso, se dice que se produce un fallo de ruta. Téngase en cuenta que cualquier cliente omitido produce un costo negativo, mientras que el recurso de volver a la estación de descarga genera un costo recurso positivo. Obsérvese también que la restricción de que cada cliente es visitado exactamente una vez en la primera solución de la etapa, y la naturaleza de las políticas recurso tiene sentido sólo si la desigualdad triangular se mantiene. El SVRP estudiado en ese trabajo consiste en el diseño de una primera etapa de solución que minimiza el costo esperado de la segunda etapa de solución, más el costo esperado de recurso.

Propusieron una heurística basada en búsqueda tabú para la VRPSCD, llamado TABUSTOCH. Las comparaciones con las mejores soluciones conocidas de problemas cuyos tamaños varían de 6 a 46 clientes indican que TABUSTOCH

produce una solución óptima en el 89,45% de los casos, con una desviación media de 0,38% de optimalidad.

Michael A. Haughton (1998) presenta modelos para estimar el ahorro de la distancia de viaje relativa de rutas semifijas y los impactos de inventario de tres estrategias para responder a las demandas de los clientes estocásticos en contextos de enrutamiento de vehículos. El documento también presenta los conocimientos clave que sugieren los modelos con respecto a la relación eficacia de cada estrategia. Estos conocimientos se centran en las condiciones que mejoran el rendimiento relativo de cada estrategia.

En esta investigación la demanda de cada cliente sigue unos procesos de Bernoulli, es decir, la demanda de un cliente en cada periodo (independientemente de la demanda de otros clientes) es cero con probabilidad  $(1 - p_i)$  o una cantidad específica  $q_i$  con una probabilidad  $p_i$ .

Jean François Cordeau et al. (2007) describen El VRP con clientes y demandas estocásticas como un problema que combina dos casos difíciles. Este problema fue mencionado por primera vez por Jézéquel (1985), Jaillet (1987), Jaillet y Odoni (1988), y más tarde fue definido formalmente por Bertsimas (1992). Una primera etapa de solución visitando todos los clientes es construida primero, el conjunto de clientes actuales es entonces revelado y sus demandas se convierten en conocidas a la llegada del vehículo a la ubicación del cliente, las rutas son seguidas según lo planeado pero los clientes ausentes son saltados y los vehículos regresan al depósito para recargar siempre que su capacidad sea alcanzada. Benton y Rossetti (1992) propusieron un algoritmo que realiza reoptimizaciones de ruta siempre que las demandas son reveladas. Una dificultad importante en la solución de este problema radica en el cálculo del valor de la función objetivo. Recursiones, límites, resultados asintóticos, y una comparación de las distintas políticas de reoptimización son proporcionados por Bertsimas (1992). Séguin (1994) y Gendreau et al. (1995) desarrollaron el primer algoritmo exacto para este problema, de nuevo basado en el enfoque de número entero en forma de L. Ellos resolvieron casos que implicando hasta 46 clientes y concluyeron que los clientes estocásticos son un factor mucho más complicado que lo que son las demandas estocásticas

**Tabla 3. Las contribuciones al problema de ruteo de vehículos con clientes y Demandas estocásticas**

<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Características y contribuciones</b>
Jézéquel	1985	M.Sc. disertación. Descripción de una heurística basada en TSP. No hay resultados de la prueba.
Jaillet	1987	Creación de clientes con demandas no unitarias por la aglomeración de clientes con demandas de Bernouilli.

Jaillet, Odoni	1988	Extraído de Jaillet (1987)
Trudeau, Dror	1992	El VRPSCD está indirectamente direccionado dentro del contexto de ruteo de inventarios. El costo esperado de recurso se calcula bajo los supuestos de entregas parciales y distribuciones de demanda continua.
Benton, Rossetti	1992	La comparación de varias políticas de operación.
Bertsimas	1992	Resultados asintóticos, límites, propiedades. Fórmula de recurrencia para el cálculo del costo esperado.
Seguin	1994	Ph.D. tesis. Modelos, límites y propiedades. Primer algoritmo exacto utilizando un método entero en forma de L ( $n \leq 46$ ). La heurística de búsqueda Tabú (óptimo en 89,45% de los casos, la desviación media de optimalidad: 0.38%).
Gendreau, Laporte, Seguin	1995	Algoritmo entero exacto en forma de L. Extraído de Séguin (1994).
Gendreau, Laporte, Seguin	1996	Heurística de búsqueda Tabú. Extraído de Séguin (1994).

Tomada de Gendreau et al. (1996)

#### 4.2.1.4 El Problema de Ruteo de Vehículos con Tiempos de Viaje Estocásticos

Laporte et al. (1992) consideraron un problema de enrutamiento de vehículos (VRP) con servicio estocástico y tiempo de viaje, en la cual los vehículos incurrir en una penalización proporcional a la duración del exceso en su recorrido de una constante preestablecida. Tres modelos de programación matemática son presentados: un modelo de oportunidad restringida, un modelo de recurso sencillo de tres índices y un modelo de recurso de dos índices. Una rama general y un algoritmo de corte para los tres modelos es descrito. Resultados computacionales indican que los problemas de tamaño moderado pueden ser resueltos a optimalidad.

El objeto de estudio de este problema llamado *el problema de ruteo de vehículos con tiempos de viaje estocásticos* (abreviado como SVRP). Consiste en la

planificación de rutas óptimas de vehículos en presencia de viajes aleatorios y tiempos de servicio. Una vez las rutas son planeadas los valores tomados por las variables aleatorias se conocen y es posible calcular la duración actual de la ruta para esos valores de las variables aleatorias. Aquí los vehículos incurren en una sanción proporcional a la duración del exceso en su recorrido de una constante  $B$ . Tales problemas ocurren con frecuencia en contextos donde a los conductores se les debe pagar horas extras por el trabajo realizado después de las horas normales. Una variante de este problema es donde la sanción para la duración de la ruta en exceso de  $B$  es proporcional al contenido del vehículo a la llegada. Tal es el caso que cuando vehículos blindados son usados para recoger dinero de sucursales bancarias para un banco central: aquí, toda transacción registrada después de cierto tiempo de día son créditos para el día siguiente, perdiendo así un día de interés.

Como es habitual en programación estocástica (vea por ejemplo, KALL), dos versiones del problema fueron consideradas:

- (i). En posibilidad de programación restringida, el objetivo es minimizar el costo de ruta planeado, mientras que garantiza que la probabilidad de tener una duración en exceso de ruta  $B$  no supere un determinado umbral;
- (ii). En programación estocástica con recurso, el objetivo es minimizar la suma de los costos planeados de ruta y el costo de sanción esperado.

VRPs estocásticos son considerablemente más difíciles de resolver que sus contrapartes deterministas y por lo tanto han recibido menos atención de los investigadores de operaciones. El único estudio relacionado parece ser el trabajo LEIPÄLÄS el cual considera el problema de estimar la longitud el recorrido óptimo en un problema de agente viajero con distancias estocásticas y los trabajos de KAO, SNIEDOVICH and CARRAWAY, MORIN and MOSKOWITZ en el cual el objetivo es determinar un recorrido con probabilidad máxima de finalización por un tiempo específico. El objetivo de este trabajo fue proporcionar formulaciones factibles y algoritmos exactos para SVRPs de tamaño moderado.

Jean François Cordeau et al. (2007) enuncia el problema de ruteo de vehículos con tiempos de viaje estocásticos (VRPSTT) los tiempos de viaje en los extremos y los tiempos de servicio en los vértices son variables aleatorias. Los vehículos siguen sus rutas planificadas y pueden incurrir en una sanción si la duración de la ruta excede un plazo determinado. Es natural hacer esta sanción proporcional a la duración del transcurso de ruta en exceso del plazo (Laporte et al., 1992). Otra posibilidad es definir una demanda proporcional a la demanda no cobrada dentro

de los plazos como es el caso en una aplicación de recolección de dinero estudiada por Lambert et al. (1993). El caso más simple de la VRPSTT es el problema del agente viajero con tiempos de viaje estocásticos (TSPSTT) en el que sólo hay un vehículo. Fue estudiado por primera vez por Leipälä (1978) la duración esperada de viajes con tiempos de viaje aleatorios. Una versión común de la TSPSTT es el caso en donde el objetivo es diseñar un recorrido que tiene la mayor probabilidad de ser completado dentro del plazo. Kao (1978) propuso dos heurísticas para este problema: una basada en programación dinámica y la otra en la enumeración implícita. Sniedovich (1981) ha mostrado que la programación dinámica aplicada al mismo problema puede ser sub-óptima debido a que la propiedad de monotonidad requerida para este método no es satisfecha en el TSPSTT. Carraway et al. (1989) más tarde desarrolló un así llamado algoritmo de programación dinámica generalizada que supera esta dificultad. Kenyon y Morton (2003) han demostrado que un TSPSTT óptimo puede ser identificado por la resolución de un TSP determinista en el que los tiempos de viaje y el servicio son reemplazados por sus valores medios. Verweij et al. (2003) han desarrollado una heurística para el caso donde una sanción proporcional al exceso de duración de ruta sobre el plazo es incurrida. El método utiliza una técnica de muestra de aproximación promedio en la cual una realización de un caso de muestra se dibuja y cada una es resuelta de manera óptima por medio de una técnica determinista. Al repetir el método con diferentes muestras de una estimación estadística la desviación óptima puede ser calculada.

Laporte et al. (1992) fueron probablemente los primeros en ofrecer algoritmos exactos para la VRPSTT. Ellos formularon la versión del problema de posibilidad restringida y modelaron una versión de recurso del problema en que se incurre en una sanción proporcional al exceso de duración en ruta sobre el plazo. El problema fue resuelto de manera óptima por medio de un algoritmo entero en forma de L para  $10 \leq n \leq 20$  y de dos a cinco escenarios de tiempo de viaje (cada escenario corresponde a una velocidad de desplazamiento diferente para toda la red). En un estudio más reciente, Kenyon y Morton (2003) han investigado las propiedades de las soluciones VRPSTT y han desarrollado límites en el valor de la función objetivo. Ellos han desarrollado una heurística que combina ramificación y corte y simulación Monte Carlo que, sí se ejecuta hasta su finalización, termina con un valor de la solución dentro de un porcentaje preestablecido del óptimo.

Finalmente, el ruteo de vehículos con tiempos de viajes estocásticos es encontrado con frecuencia en problemas de cargue y descargue tales como aquellas que surgen en operaciones de carga completa. Wang y Regan (2001) han propuesto modelos para esta clase de problemas bajo la presencia de ventanas de tiempo.

Justin C. Goodson et al (2011) examinan los barrios de orden cíclico para una clase general de VRP y proponen procedimientos para facilitar la búsqueda eficiente de esos barrios en los esquemas de búsqueda locales. Se demuestra que, cuando se inscriben en un marco de recocido simulado, los barrios de orden cíclico son capaces de obtener una alta calidad soluciones a priori para la VRPSD. Sin adaptar su procedimiento de solución a este problema de enrutamiento específico, son capaces de igualar 16 de 19 soluciones óptimas VRPSD conocidos. También proponen un procedimiento de actualización para evaluar los vecinos de una solución actual y demostrar su capacidad para reducir el coste de cálculo de su enfoque.

Shangyao Yan et al. (2013) desarrollan una planificación y un modelo de ajuste en tiempo real para planificar rutas de mensajería y los horarios en una zona urbana, y para ajustar las rutas planificadas en operaciones reales. El aspecto estocástico de los tiempos de viaje del problema han sido abordados tanto en la etapa de planificación y en la etapa de operación. Una heurística es desarrollada para resolver de manera eficiente el modelo de ajuste en tiempo real estocástico y un método de evaluación basado en simulación es también desarrollado para comparar el rendimiento de los modelos propuestos, relacionados con la operación de una compañía de correo expreso internacional, muestran el buen desempeño de la propuesta modelos.

En su investigación consideran el enrutamiento de mensajería y el problema de programación con ventanas de tiempo de servicio, las demandas inciertas y los tiempos de viaje estocásticos. El problema está motivado por las operaciones de una compañía expresa internacional que sirve a un área urbana con la congestión del tráfico en Taiwán. La ciudad cuenta con varias empresas de mensajería que sirven las peticiones de recogida y entrega para el transporte de cartas y pequeños paquetes. En la práctica real de planificación, los controladores primero asignan un número de zonas que están definidas por límites naturales como ríos, ferrocarriles y colinas. A continuación, los controladores utilizan las demandas promedio para calcular cuántas paradas de los clientes deben ser incluidas en una ruta de mensajería para garantizar la consecución de un objetivo de productividad predefinido. Una vez como el número de paradas de los clientes debe ser incluido en una ruta determinada, los controladores planean rutas de mensajería y horarios siguiendo un proceso de prueba y error basado en sus experiencias.

D. Taş et al. (2013) consideran el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo suave y tiempos de viaje estocásticos. Consideran los tiempos de viaje estocástico para obtener rutas que son a la vez eficientes y confiables. En el problema ventanas de tiempo suave presentan puntualidad y tardanzas del servicio a clientes incurriendo en algunos costos de sanción. El objetivo es minimizar la suma de los costos de transporte y los costes de servicio. Los costos de transporte son el resultado de tres elementos que son la distancia total recorrida, el número de vehículos utilizados y el total las horas extras esperadas de los conductores. El costo de servicios está incurrido para llegadas tempranas y tardías, estas corresponden a violaciones de ventana de tiempo en los clientes. Se aplica un procedimiento de generación de columnas para resolver este problema. El problema principal puede ser modelado como un problema conjunto de partición clásica. Los precios subproblema, para cada vehículo, corresponde a un problema del camino más corto primaria con las limitaciones de recursos. Para generar una solución entera , se integra el procedimiento de generación de columnas dentro de un método rama y precio. Se reportan los resultados computacionales obtenidos mediante la experimentación con casos de problemas conocidos.

Nilson Herazo et al. (2013) consideran considera la versión estocástica del problema de ruteo de vehículos de ubicación (SLRP) en el que los costos de transporte y las velocidades de viaje de los vehículos son ambas estocásticas. Un procedimiento de solución híbrida basado en Optimización de Colonias de Hormigas (ACO) y eventos – discretos de simulación (DES) es propuesto. Después de usar un algoritmo heurístico secuencial para resolver el subproblema ubicación, ACO es empleado para resolver el problema de enrutamiento vehículo correspondiente. DES es finalmente utilizado para evaluar este tipo de rutas de vehículos en términos de su impacto en los costos totales esperados de ubicación y transporte para los clientes. El enfoque es probado utilizando conjuntos de datos aleatorios generados. Porque no hay trabajos anteriores en la literatura que consideren la misma ubicación estocástica- del problema de ruteo, el procedimiento se compara con la versión determinista del problema. Los resultados muestran que el método propuesto es muy eficiente y eficaz.

La investigación considera un diseño integrado de la cadena de suministro y el problema de la operación en cuestión con facilidad de ubicación y ruteo de vehículos para la toma de decisiones. El problema es conocido en la literatura como el problema de ruteo de ubicación. El LRP es también visto in la literatura científica como un área de investigación dentro de la teoría de ubicación, con la propiedad distintiva de prestar especial atención a las cuestiones subyacentes de



ruteo de vehículos (Nagy y Salhi 2007). El LRP es más complejo que el problema tradicional de ubicación de la instalación (FLP) y más complejo que el problema de ruteo de vehículos (VRP). El LRP por lo tanto pertenece a los problemas de clase NP-difícil, o que significa que no es posible encontrar soluciones óptimas para casos de gran tamaño en un tiempo de cálculo razonable. Cabe señalar, en primera instancia que entre los procedimientos de solución, las colonia de hormiga no ha sido utilizada ampliamente para resolver problemas en la localización de ruteo estocástico. Además, simulación de eventos discretos puede ser considerada como una herramienta de gran alcance para hacer frente a un comportamiento estocástico en SLRPs que no es fácil de formalizar en un algoritmo metaheurístico complejo. Nuestro enfoque tiene la intención de acoplar estos dos enfoques para resolver el SLRP con los costos de transporte estocásticos y la velocidad de desplazamiento del vehículo estocástico.

Debido a la complejidad computacional del (SLRP), en la investigación se propone una solución aproximada basada en la solución de dos sub-problemas. En primera instancia el problema de localización de los centros de distribución de vehículos (depósitos) es resuelto. Esto se hace a través de un análisis secuencial de los efectos de la decisión de localización tanto en el ruteo de vehículos como en el costo de enrutamiento esperado. En segunda fase el problema de enrutamiento es resuelto, la secuencia para visitar a los clientes es determinada. El modelo empleado es el (CVRP). En tercera fase un modelo de simulación de eventos discretos es construido. En este caso, todos los elementos estocásticos son tomados en cuenta (costos de transporte, la velocidad del vehículo, etc.) La solución final se obtiene mediante la comparación de los resultados de cada decisión de localización (que se encuentra en la primera fase) - juntos con la secuencia de clientes que visitan (que se encuentra en la segunda fase).

### **4.3 Definición de términos básicos (Marco Conceptual)**

#### **4.3.1 CVRP**

(Capacited VRP), es el VRP más general y consiste en uno o varios vehículos con capacidad limitada y constante encargados de distribuir los productos según la demanda de los clientes (Olivera, 2004; Lee *et al.*, 2002). Este problema ha sido resuelto mediante búsqueda Tabú (Olivera, 2004; Rego, s/f), algoritmos genéticos (Machado *et al*, 2002; Machado *et al.*, 2003 (a); Olivera, 2004), algoritmos de colonias de hormigas (Olivera, 2004), *Constraint programming* (Shaw, 1998) y

algoritmos híbridos de recocido simulado y algoritmos genéticos (Wendt y König, s/f).

#### **4.3.2 MDVRP**

(Multi-Depot VRP), o VRP con múltiples depósitos es un caso de ruteo de vehículos en el que existen varios depósitos (cada uno con una flota de vehículos independiente) que deben servir a todos los clientes, caso resuelto por Tansini *et al.*, (s/f) mediante técnicas de cluster first . routen second. ( primero asignar o clusterizar y segundo enrutar).

#### **4.3.3 PVRP**

(Period VRP), contempla en su planteamiento un horizonte de operación de M días, periodo durante el cual cada cliente debe ser visitado una vez, problema propuesto por Francis *et al.*, (2004) y resuelto por los mismos autores mediante relajación lagrangiana.

#### **4.3.4 SDVRP**

(Split Delivery VRP), o VRP de entrega dividida, donde se permite que un cliente pueda ser atendido por varios vehículos si el costo total se reduce, lo cual es importante si el tamaño de los pedidos excede la capacidad de un vehículo, (Lee *et al.*, 2002; Archetti *et al.*, 2001), resuelto en 2002 por Lee *et al.*

#### **4.3.5 SVRP**

(Stochastic VRP), se trata de un VRP en que uno o varios componentes son aleatorios; clientes, demandas y tiempos estocásticos son las principales inclusiones en este tipo de problemas. El SVRP ha sido resuelto por Bianchi *et al.*, (s/f) a través de búsqueda Tabú, recocido simulado, algoritmos de colonias de hormigas, algoritmos genéticos y otros algoritmos evolutivos.

#### **4.3.6 VRPPD**

(VRP Pickup and Delivery), o VRP con entrega y recogida, es aquel en el que cabe la posibilidad de que los clientes pueden devolver determinados bienes, por tanto, se debe tener presente que estos quepan en el vehículo. Esta restricción hace más difícil el problema de planificación y puede causar una mala utilización de las capacidades de los vehículos, un aumento de las distancias recorridas o a un mayor número de vehículos (Volkan, 2005; Dethloff, 200; Halse, 1992; Gendreau *et.al.*, 1994; Min, 1989). Una forma de solucionar el VRPPD mediante la

utilización de algoritmos genéticos fue propuesta por Volkan en 2005, quien afirma que si este problema incluye la restricción de culminar todas las entregas antes de iniciar las recogidas se da lugar a un VRP con *backhauls* o **VRPB**, variación del VRP estudiada por Charlotte y Goetschalckx (1998).

#### **4.3.7 MFVRP**

(Mix Fleet VRP), es un VRP en el que se suponen vehículos con distintas capacidades o capacidad heterogénea, por lo que es necesario considerar estas capacidades en la ruta que seguirá cada recurso, ya que un camión más grande podrá realizar una ruta más larga o que tenga mayor concentración de demanda, lo cual fue estudiado inicialmente por Liu y Shen (1999) y posteriormente resuelto por Barchett y Campion mediante Búsqueda Tabú en 2002.

#### **4.3.8 VRPTW**

(VRP with Time Windows), es aquel en el que se incluye una restricción adicional en la que se asocia a cada cliente una ventana de tiempo, es decir, cada cliente sólo está dispuesto a recibir el bien o servicio durante un intervalo de tiempo predeterminado; este tipo de problema ha sido resuelto por diferentes autores, entre los que vale la pena mencionar a Olivera (2004), quien presenta una solución mediante búsqueda Tabú, Gendreau *et al.* (1998) proponen una heurística de inserción; Olivera (2004), Vacic (2002), Bräysy (2001), Zhu (2000) y Louis *et al.* (1999) lo resuelven con algoritmos genéticos y Barán y Schaerer (2003) y Gambardella *et al.*, (1999) presentan una propuesta a través de algoritmos de colonia de Hormigas.

### **4.4 Marco Histórico**

Rocha et al. (2011) El primer problema planteado tipo VRP fue el del agente viajero o TSP (Travelling Salesman Problem) introducido por Flood en 1956. El problema recibe este nombre porque puede definirse en términos de agente vendedor que debe visitar cierta cantidad de ciudades en un solo viaje, de tal manera que inicie y termine su recorrido en la ciudad “origen”; el agente debe determinar cuál ruta debe seguir para visitar cada ciudad una sola vez y regresar de tal manera que la distancia total recorrida sea mínima.

Daza et al. (2009) De la formulación propuesta por Flood nacen formulaciones como el TSP generalizado o también llamado Problema de Enrutamiento de Vehículos VRP con Dantzing y Ramser en 1959, quienes descubrieron una aplicación real de la entrega de gasolina a las estaciones de servicio y propusieron

una formulación matemática. Cinco años después Clarke y Wright propusieron el primero algoritmo que resultó efectivo para resolverlo. Y es así como se dio comienzo a grandes investigaciones y trabajos en el área de ruteo de vehículos.

Rocha et al. (2011) En 1960 se encuentra la primera referencia del TSP múltiple o m-TSP con Miller, Tucker y Zemlin. En 1969 a partir del trabajo de Tilman se da origen al TSP probabilístico. A partir del TSP generalizado o VRP surgen extensiones de este como el VRP capacitado (CVRP), y de este se desprenden dos grandes categorías el VRP homogéneo y el VRP heterogéneo. El VRP homogéneo se puede subdividir en cuatro tipos: DVRP (VRP con distancias), VRPTW (VRP con ventanas de tiempo) que aparece en 1967, el VRPB (VRP con retornos) en 1985, y el SDVRP (VRP con entregas divididas) en 1989. Por su parte el VRP heterogéneo se divide en VRPHF (VRP con flota heterogénea) en 1994, PVRP (VRP periódico) en 1991, Multi-trip VRP (VRP con múltiples viajes) en 1990, el Multi-depot VRP (VRP con múltiples depósitos) en 1993, MCVRP (VRP con múltiples capacidades) en 1998, MOVPR (VRP con múltiples destinos) en 1995 y el SVRP (VRP estocástico) en 1983.

El SVRP se trata del VRP estocástico donde uno o varios componentes de la formulación son aleatorios. Fue planteado inicialmente en 1983, e incluye tres variaciones, cuando la demanda de cada consumidor es una variable aleatoria VRPUD, cuando los tiempos de servicio y tiempos de viaje son variables aleatorias VRPSTT, y cuando cada consumidor tiene una probabilidad  $p$  de presentarse y una probabilidad  $(1-p)$  de estar ausente SVRP-SN.

## **5. Diseño Metodológico**

### **5.1 Tipo de Estudio**

Se trata de un estudio de tipo descriptivo en donde se analiza un problema de ruteo de vehículos estocástico de múltiples depósitos, se definen los diferentes tipos de problemas de ruteo de vehículos estocásticos que han sido estudiados a lo largo de la historia. Se describen una serie de etapas para la modelación del caso. Para la fase de experimentación se describen los factores de diseño, los niveles de cada factor, los bloques y las variables de respuesta del caso.

### **5.2 Técnicas de recolección de información**

**Información Primaria:** el número de depósitos, vehículos y clientes de la empresa, la matriz de rutas, la matriz de tiempos de rutas y la matriz de

coordenadas geográficas de los clientes, son información obtenida de primera fuente, es decir información con la que se trabaja en la empresa de distribución de agua y fue entregada por ella para realizar esta investigación.

**Información Secundaria:** la matriz de distancias aproximadas entre clientes fue construida a partir de la matriz de coordenadas geográficas, para esto se utilizó el aplicativo web google maps.

### **5.3 Fase de Revisión de la Literatura**

En esta primera fase de la investigación se plantea el problema de investigación, se establecen los objetivos y se define la pregunta de investigación. A su vez se realiza la elaboración de los marcos referenciales, entre ellos el marco teórico en donde se definen los elementos principales que constituyen un SMDVRP y los métodos de solución para dichos problemas. Se realiza una amplia revisión de los antecedentes del problema o estado del arte de los VRP de tipo estocástico con sus respectivas variaciones. Se elabora la definición de términos básicos o marco conceptual, tomando como referencia las múltiples variaciones del problema de ruteo de vehículos y por último se elabora el marco histórico del problema.

### **5.4 Fase de Modelación y Análisis de Resultados**

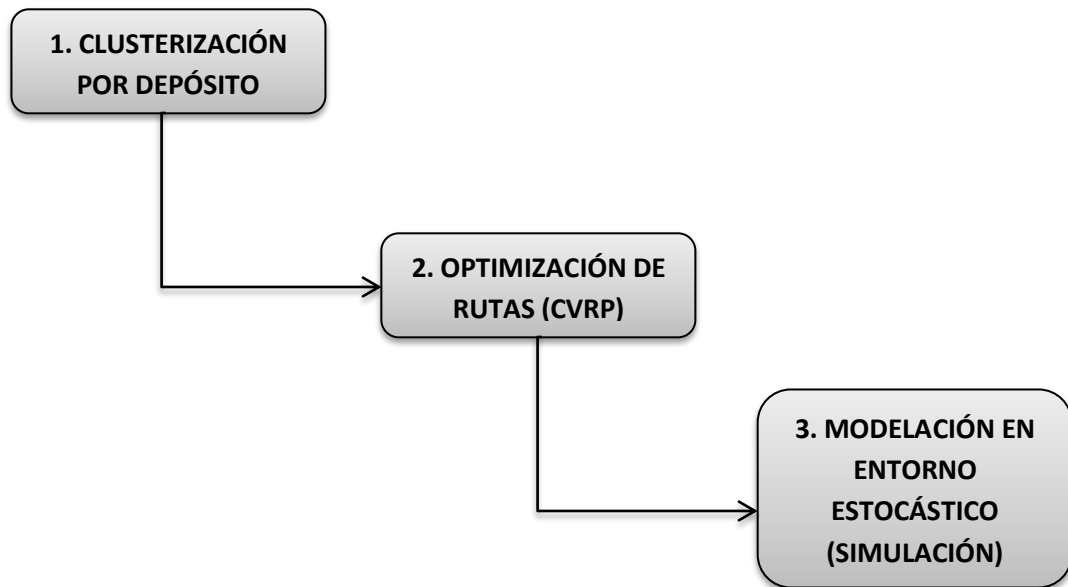
En esta fase de la investigación se realiza el desarrollo la parte de modelación del problema de investigación, la cual está constituida por tres etapas; la primera etapa de clusterización por depósitos, es decir, asignación de clientes a cada depósito bajo un criterio actual y uno de mínima distancia; la segunda etapa de optimización de rutas (CVRP) utilizando un Router basado en el algoritmo (ACO), se proponen cuatro métodos de optimización de rutas de acuerdo con una variable de decisión preestablecida (posición, distancia, tiempo); y la tercera etapa consiste en la simulación en el software Arena® 14.0 de los diferentes escenarios generados por las etapas anteriores bajo dos ambientes, uno determinístico y otro estocástico.

Posteriormente los resultados obtenidos en el proceso de modelación son sometidos a técnicas de diseño de experimentos con el software estadístico Minitab v.16, en esta parte de experimentación se definen los factores, niveles y valores de los niveles del problema junto con los bloques de diseño. Finalmente se realizan los análisis a los resultados arrojados por la fase de modelación y la fase de diseño de experimentos del caso de estudio.

## 6. Modelación del Problema de Ruteo de Vehículos Múltiples Depósitos Estocásticos (SMDVRP)

La Modelación del SMDVRP del caso de estudio se lleva a cabo a través de las etapas que se muestran en la Figura 2.

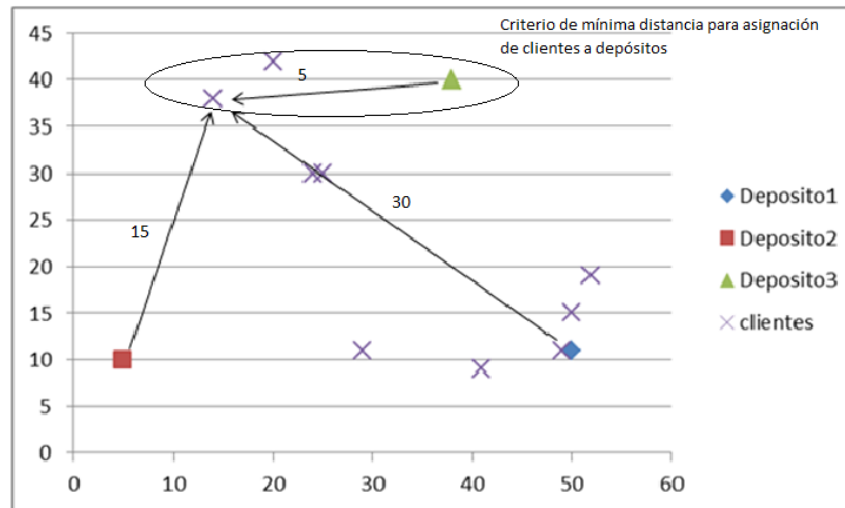
Figura 2. Etapas de la Modelación del SMDVRP



### 6.1 PROCEDIMIENTO DE CLUSTERIZACIÓN POR DEPÓSITO

Se realiza el estudio a una empresa de acueducto del municipio de Uribia, Guajira, la cual se encarga de la distribución de agua a través de flotas de carro tanques a un conjunto de clientes geográficamente dispersos, en este caso en particular los clientes son pequeñas comunidades indígenas a las cuales se les da el suministro de agua potable. La distribución de agua potable a las comunidades indígenas es realizada dos veces por semana. Se trata de un problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos. Para realizar la clusterización por depósito se trabajó con el criterio de mínima distancia recorrida, para esto se hicieron pruebas lógicas de excel en donde se asignó a cada depósito el cliente más cercano posible a su ubicación de acuerdo a la matriz de distancias entre clientes y depósitos tal como se muestra en la Figura 3.

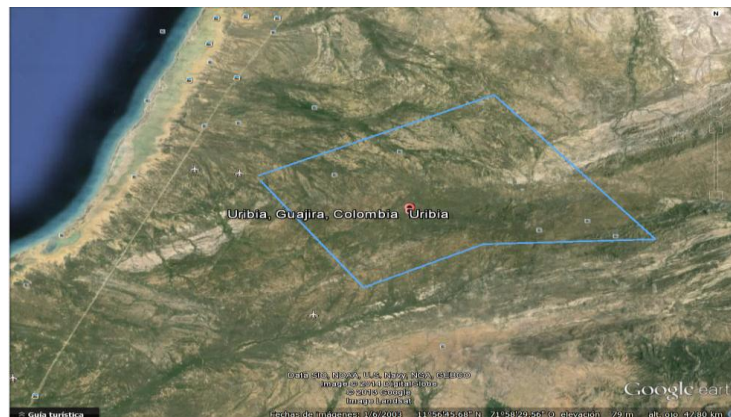
**Figura 3. Asignación de Clientes a Depósitos por criterio de mínima distancia recorrida**



### 6.1.1 Escenario Actual (no clusterizado)

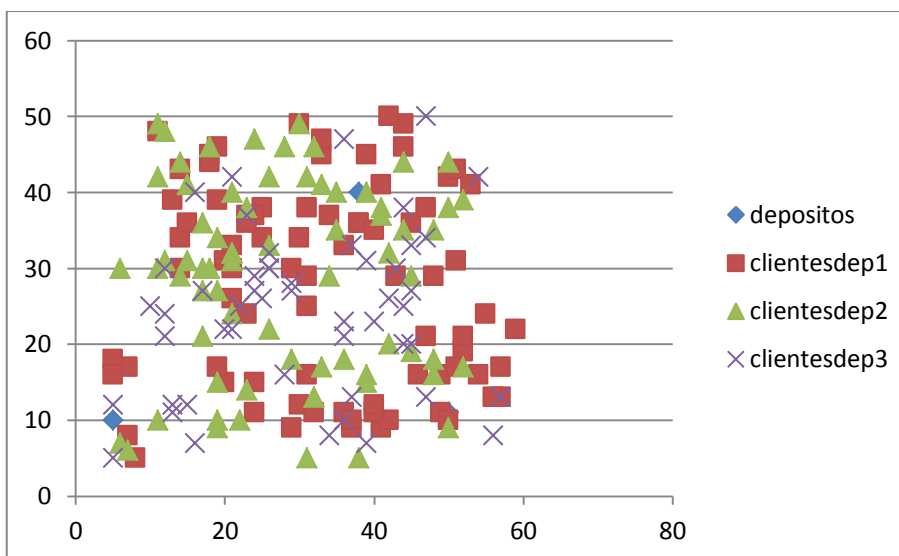
El escenario actual está dado por la política de distribución adoptada por la empresa para realizar los repartos de agua a las comunidades indígenas, tal y como se muestra en la Tabla 4.

**Figura 4. Localización geográfica de depósitos y clientes del problema**



Tomada de Google Earth (2014)

**Figura 5. Escenario actual de asignación de clientes a los centros de distribución del caso de estudio.**



**Tabla 4. Secuencia que sigue cada vehículo para realizar las visitas los clientes de acuerdo a las políticas de distribución de la empresa.**

Vehicul	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	Deposito1	cliente_1	cliente_2	cliente_3	cliente_31	cliente_32	cliente_33	cliente_34	cliente_35	cliente_36	cliente_37
2	Deposito1	cliente_4	cliente_5	cliente_6	cliente_7	cliente_38	cliente_39	cliente_40	cliente_54	cliente_55	cliente_56
3	Deposito1	cliente_8	cliente_9	cliente_41	cliente_42	cliente_43	cliente_44	cliente_45	cliente_57	cliente_58	cliente_59
4	Deposito1	cliente_10	cliente_11	cliente_12	cliente_13	cliente_60	cliente_61	cliente_62	cliente_63	cliente_64	cliente_65
5	Deposito1	cliente_14	cliente_15	cliente_46	cliente_47	cliente_48	cliente_49	cliente_50	cliente_51	cliente_52	cliente_53
6	Deposito1	cliente_16	cliente_17	cliente_18	cliente_67	cliente_76	cliente_77	cliente_78	cliente_79	cliente_80	cliente_81
7	Deposito1	cliente_19	cliente_20	cliente_68	cliente_69	cliente_70	cliente_71	cliente_72	cliente_73	cliente_74	cliente_75
8	Deposito1	cliente_21	cliente_22	cliente_23	cliente_24	cliente_110	cliente_111	cliente_112	cliente_113	cliente_114	cliente_115
9	Deposito2	cliente_25	cliente_26	cliente_27	cliente_116	cliente_117	cliente_118	cliente_119	cliente_120	cliente_121	cliente_122
10	Deposito2	cliente_28	cliente_29	cliente_30	cliente_123	cliente_124	cliente_125	cliente_126	cliente_127	cliente_128	cliente_129
11	Deposito2	cliente_82	cliente_92	cliente_102	cliente_103	cliente_104	cliente_105	cliente_106	cliente_107	cliente_108	cliente_109
12	Deposito2	cliente_83	cliente_93	cliente_130	cliente_131	cliente_132	cliente_133	cliente_134	cliente_135	cliente_136	cliente_137
13	Deposito2	cliente_84	cliente_94	cliente_138	cliente_146	cliente_154	cliente_162	cliente_170	cliente_171	cliente_172	cliente_173
14	Deposito2	cliente_85	cliente_95	cliente_139	cliente_147	cliente_155	cliente_163	cliente_174	cliente_199	cliente_200	cliente_66
15	Deposito2	cliente_86	cliente_96	cliente_140	cliente_148	cliente_156	cliente_164	cliente_175	cliente_196	cliente_197	cliente_198
16	Deposito3	cliente_87	cliente_97	cliente_141	cliente_149	cliente_157	cliente_165	cliente_176	cliente_193	cliente_194	cliente_195
17	Deposito3	cliente_88	cliente_98	cliente_142	cliente_150	cliente_158	cliente_166	cliente_177	cliente_190	cliente_191	cliente_192
18	Deposito3	cliente_89	cliente_99	cliente_143	cliente_151	cliente_159	cliente_167	cliente_178	cliente_187	cliente_188	cliente_189
19	Deposito3	cliente_90	cliente_100	cliente_144	cliente_152	cliente_160	cliente_168	cliente_179	cliente_184	cliente_185	cliente_186
20	Deposito3	cliente_91	cliente_101	cliente_145	cliente_153	cliente_161	cliente_169	cliente_180	cliente_181	cliente_182	cliente_183



### **6.1.2 Escenario de Mínima Distancia (clusterización)**

El proceso de clusterización consiste en agrupar bajo un criterio de decisión un conjunto de clientes a un determinado depósito o centro de distribución. En esta investigación se utiliza el criterio de mínima distancia recorrida entre los clientes y los depósitos. López et al. (2012) plantean que Los MDVRP pueden ser analizados y trabajados como problemas de clustering, en el sentido que el resultado de estos, deben ser un conjunto de vehículos asignados y agrupados por depósito. Esta interpretación, sugiere una clase de agrupación de clientes por depósito para luego asignar y programar los vehículos en cada cluster. Un MDVRP puede ser resuelto en 2 fases básicamente: primero, se debe asignar los clientes a un depósito específico; segundo, debe construir las rutas que conecten a los clientes asignados al depósito. Ver Figura 3 y Figura 16.

### **6.2 Método de Optimización de Rutas con Ant Colony (ACO)**

Barcos et al. (2002) plantean que los algoritmos ACO (Ant Colony Optimization) son modelos inspirados en el comportamiento de colonias de hormigas reales. Estudios realizados explican cómo animales casi ciegos, como son las hormigas, son capaces de seguir la ruta más corta en su camino de ida y vuelta entre la colonia y una fuente de abastecimiento. Esto es debido a que las hormigas pueden "transmitirse información" entre ellas gracias a que cada una de ellas, al desplazarse, va dejando un rastro de una sustancia llamada feromona a lo largo del camino seguido. Así, mientras una hormiga aislada se mueve de forma esencialmente aleatoria, los "agentes" de una colonia de hormigas detectan el rastro de feromona dejado por otras hormigas y tienden a seguir dicho rastro. Éstas a su vez van dejando su propia feromona a lo largo del camino recorrido y por tanto lo hacen más atractivo, puesto que se ha reforzado el rastro de feromona. Sin embargo, la feromona también se va evaporando con el paso del tiempo provocando que el rastro de feromona sufra, por otro lado, cierto debilitamiento. En definitiva, puede decirse que el proceso se caracteriza por una retroalimentación positiva, en la que la probabilidad con la que una hormiga escoge un camino aumenta con el número de hormigas que previamente hayan elegido el mismo camino.

Los algoritmos ACO son procesos iterativos. En cada iteración se "lanza" una colonia de  $m$  hormigas y cada una de las hormigas de la colonia construye una

solución al problema. Las hormigas construyen las soluciones de manera probabilística, guiándose por un rastro de feromona artificial y por una información calculada a priori de manera heurística. Cuando todas las hormigas han construido una solución debe actualizarse la feromona en cada arco. Tras la actualización de la feromona puede comenzarse una nueva iteración. El resultado final es la mejor solución encontrada a lo largo de todas las iteraciones realizadas.

Herazo et al. (2013) Para el diseño del algoritmo ACO para el problema en estudio (véase la Figura 6 ), cada hormiga representa un vehículo que construye su ruta de distribución de la lista de posibles nodos (clientes) para visitar. La selección de los clientes se hace hasta que no se viola la capacidad del vehículo. Los clientes son asignados a los vehículos que dan prioridad a las rutas con el mejor equilibrio entre el nivel de feromonas y la distancia. El algoritmo permite una asignación aleatoria de los clientes a fin de evitar óptimos locales.

**Figura 6. ACO algoritmo pseudo-código.**

```
ACO Algorithm()
  Initialise parameters
  Initialise pheromone levles
  While stopping condition is not met Do
    While clients are not all assigned Do
      While vehicle capacity is respected Do
        If  $q < q_0$  Then
          Assign clients according to best balance between pheromone level and distance
        Else
          Assign clients at random using  $s$ 
        End-If
      End-While
      Update pheromone
    End-While
    Evaporate pheromone
    If best current distance is higher than best global distance Then
      Dist_Global = Dist_Current
      Update pheromone
    End_If
  End-While
```

Tomada de Herazo et al. (2013)

En esta parte de la investigación se utilizó el algoritmo mostrado en la Figura 6 para generar varios escenarios de acuerdo con un parámetro de decisión establecido (distancias euclidianas, distancias reales, tiempos reales).

## 6.3 MODELACIÓN EN ENTORNO ESTOCÁSTICO

### 6.3.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE SIMULACION

#### 6.3.1.1 Descripción del Sistema

Modelacion de una cadena logistica MDVRP (Multi-Depot VRP) en un contexto estocástico, es un sistema de ruteo de vehículos en el que existen tres (3) depósitos cada uno con una flota de vehículos independiente que deben visitar a un grupo de clientes asignados, este sistema esta con puesto por 200 clientes y 20 vehículos, en las siguiente grafica logramos observar la distribución de los cliente en base a cada depósito de todo el sistema a modelar.

Cada depósito cuenta con una flota de vehículo homogénea, con una capacidad de los mismos de 8, 7 y 5 vehículos por depósitos respectivamente. Los vehículo de los depósitos que componen la cadena logística del El problema de ruteo de vehículos MDVRP (Multi-Depot VRP) tiene un conjunto de clientes asignados de forma secuencial que permite realizar una visita por cliente (Tabla 5) y cumplir con la totalidad de las demanda de los clientes.

**Tabla 5. Matriz de Asignación para la Secuencia de Rutas**

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	Deposito1	cliente_1	cliente_2	cliente_3	cliente_31	cliente_32	cliente_33	cliente_34	cliente_35	cliente_36	cliente_37
2	Deposito1	cliente_4	cliente_5	cliente_6	cliente_7	cliente_38	cliente_39	cliente_40	cliente_54	cliente_55	cliente_56
3	Deposito1	cliente_8	cliente_9	cliente_41	cliente_42	cliente_43	cliente_44	cliente_45	cliente_57	cliente_58	cliente_59
4	Deposito1	cliente_10	cliente_11	cliente_12	cliente_13	cliente_60	cliente_61	cliente_62	cliente_63	cliente_64	cliente_65
5	Deposito1	cliente_14	cliente_15	cliente_46	cliente_47	cliente_48	cliente_49	cliente_50	cliente_51	cliente_52	cliente_53
6	Deposito1	cliente_16	cliente_17	cliente_18	cliente_67	cliente_76	cliente_77	cliente_78	cliente_79	cliente_80	cliente_81
7	Deposito1	cliente_19	cliente_20	cliente_68	cliente_69	cliente_70	cliente_71	cliente_72	cliente_73	cliente_74	cliente_75
8	Deposito1	cliente_21	cliente_22	cliente_23	cliente_24	cliente_110	cliente_111	cliente_112	cliente_113	cliente_114	cliente_115
9	Deposito2	cliente_25	cliente_26	cliente_27	cliente_116	cliente_117	cliente_118	cliente_119	cliente_120	cliente_121	cliente_122
10	Deposito2	cliente_28	cliente_29	cliente_30	cliente_123	cliente_124	cliente_125	cliente_126	cliente_127	cliente_128	cliente_129
11	Deposito2	cliente_82	cliente_92	cliente_102	cliente_103	cliente_104	cliente_105	cliente_106	cliente_107	cliente_108	cliente_109
12	Deposito2	cliente_83	cliente_93	cliente_130	cliente_131	cliente_132	cliente_133	cliente_134	cliente_135	cliente_136	cliente_137
13	Deposito2	cliente_84	cliente_94	cliente_138	cliente_146	cliente_154	cliente_162	cliente_170	cliente_171	cliente_172	cliente_173
14	Deposito2	cliente_84	cliente_94	cliente_138	cliente_146	cliente_154	cliente_162	cliente_170	cliente_171	cliente_172	cliente_173

	ito2	_85	95	139	147	155	163	174	199	200	66
15	Deposito2	cliente_86	cliente_96	cliente_140	cliente_148	cliente_156	cliente_164	cliente_175	cliente_196	cliente_197	cliente_198
16	Deposito3	cliente_87	cliente_97	cliente_141	cliente_149	cliente_157	cliente_165	cliente_176	cliente_193	cliente_194	cliente_195
17	Deposito3	cliente_88	cliente_98	cliente_142	cliente_150	cliente_158	cliente_166	cliente_177	cliente_190	cliente_191	cliente_192
18	Deposito3	cliente_89	cliente_99	cliente_143	cliente_151	cliente_159	cliente_167	cliente_178	cliente_187	cliente_188	cliente_189
19	Deposito3	cliente_90	cliente_100	cliente_144	cliente_152	cliente_160	cliente_168	cliente_179	cliente_184	cliente_185	cliente_186
20	Deposito3	cliente_91	cliente_101	cliente_145	cliente_153	cliente_161	cliente_169	cliente_180	cliente_181	cliente_182	cliente_183

**Tabla 6. Matriz de Asignación para la Secuencia de Tiempos de nodo a nodo**

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	50	52	36	88	66	44	20	86	40	56	58
2	88	48	74	66	70	56	30	90	86	86	38
3	100	44	84	86	22	76	26	88	80	72	34
4	54	56	54	50	70	72	82	72	78	74	100
5	36	34	88	86	36	52	80	84	76	90	86
6	92	64	26	84	76	80	72	84	80	72	40
7	32	90	74	74	70	76	80	88	80	80	32
8	26	68	86	60	76	76	86	72	90	78	50
9	66	84	80	72	86	74	74	88	76	74	46
10	88	54	82	84	74	82	70	70	84	88	58
11	68	88	70	86	90	84	76	84	70	78	54
12	74	84	74	80	82	82	74	72	72	74	48
13	54	74	72	84	84	86	70	70	74	84	68
14	58	78	90	88	78	80	90	80	80	78	64
15	42	74	82	72	78	88	78	78	72	90	64
16	46	86	90	82	84	74	70	90	74	72	32
17	36	74	74	84	86	90	88	78		78	40
18	48	76	88	88	70	72	80	90	84	80	26
19	64	72	80	82	82	80	84	80	74	70	36
20	30	72	80	76	88	76	90	72	76	72	20
21	50	52	36	88	66	44	20	86	40	56	58
22	88	48	74	66	70	56	30	90	86	86	38
23	100	44	84	86	22	76	26	88	80	72	34

### 6.3.1.2 *Análisis del Sistema y Formulación del Modelo*

**Tabla 7. Entidades del modelo de simulación**

Entidad	Definición	Atributos
<b>Vehículo</b>	Números de vehículos que con ponen todo El problema de ruteo de vehículos MDVRP (Multi-Depot VRP) simulado	Entity.Sequence, veh

**Tabla 8. Atributos del modelo de simulación**

Atributo	Definición	Valor Inicial / Defecto
<b>Entity.Sequence, veh</b>	Secuencia asignada que especifica que clientes debe visitar cada vehículo en particular a lo largo de toda la cadena logística.	Ver Tabla 5

**Tabla 9. Variables del modelo de simulación**

Variables	Definición	Valor Inicial / Defecto
<b>num_vehiculos</b>	Número de vehículos cargados al sistema	20
<b>num_depositos</b>	Número de depósitos cargados al sistema	3
<b>num_clientes</b>	Número de clientes cargados al sistema	200
<b>costo</b>	Costo acumulado de todas las entidades en el sistema	costo + Entity.TranCost + Entity.VACost + Entity.NVACost + Entity.WaitCost + Entity.OtherCost

<b>tiempo</b>	Tiempo acumulado de todas las entidades en el sistema	tiempo + Entity.VATime + Entity.NVATime + Entity.WaitTime + Entity.TranTime + Entity.OtherTime
---------------	---	--

**Tabla 10. Estaciones del modelo de simulación**

<b>Station</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor Inicial / Defecto</b>
<b>Depósitos</b>	Punto de inicio del problema de ruteo de vehículos MDVRP (Multi-Depot VRP)	3
<b>Clientes</b>	Punto visitados por cada vehículo según su asignación a largo de todo el evento simulado.	200

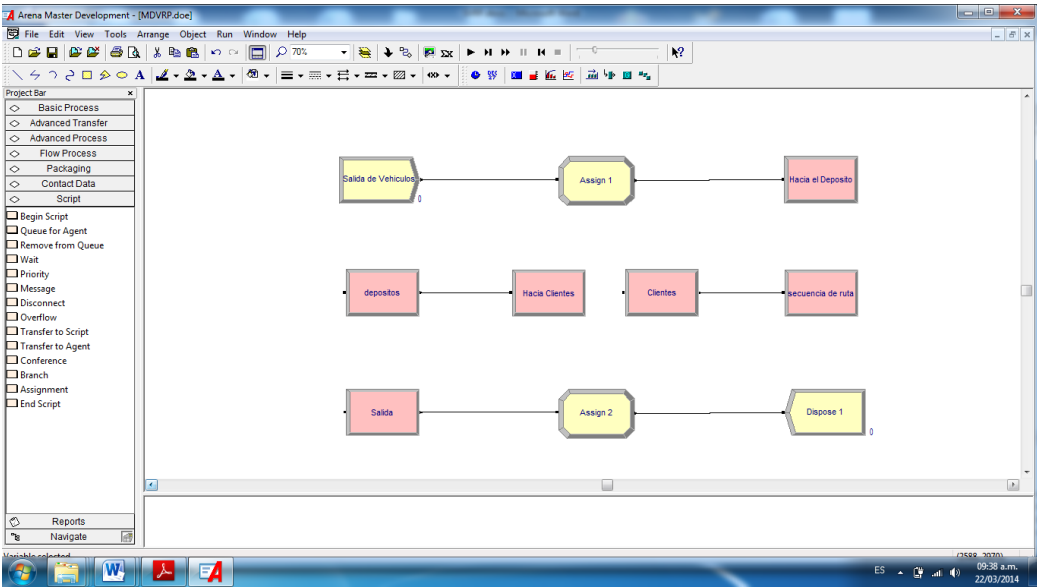
**Tabla 11. Rutas del modelo de simulación**

<b>Route</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor Inicial / Defecto</b>
<b>Hacia el Deposito</b>	Secuencia asignada a cada entidad (vehículo) para realizar el enrutamiento de los vehículos hacia los depósitos.	Ver Figura 10
<b>Hacia Clientes</b>	Secuencia asignada a cada entidad (vehículo) para realizar el enrutamiento de los vehículos hacia los clientes.	Ver Figura 11
<b>secuencia de ruta</b>	Secuencia asignada a cada entidad (vehículo)	Ver Tabla 5 y ver Figura 12

	para realizar el enrutamiento de los vehículos hacia los diferentes clientes que alberga en su secuencia cada vehículo.	
<b>Secuencia de Tiempos</b>	Secuencia asignada a cada entidad (vehículo) para determinar cuanto tarda en ir una entidad de un cliente a otro cliente.	Ver Tabla 6

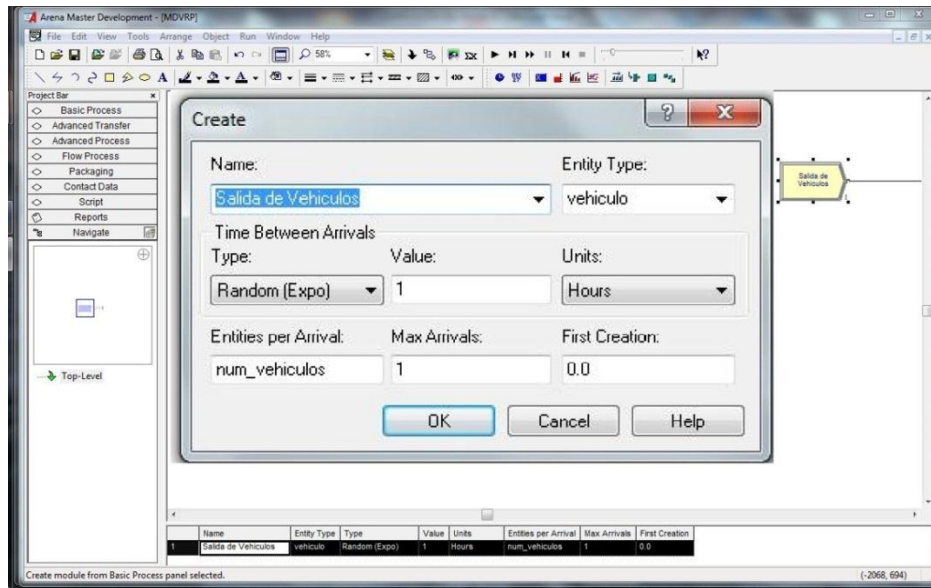
**6.3.1.3 Codificación del Modelo**

**Figura 7. Lógica general del Modelo de Simulación**



Las entidades que conforman el modelo son cargadas a través de una variable creada que tiene por nombre num\_vehiculos, en la cual se especifica la cantidad de vehículos que conforman El problema de ruteo de vehículos MDVRP (Multi-Depot VRP) simulado.

**Figura 8. Bloque “Create” del modelo de simulación**

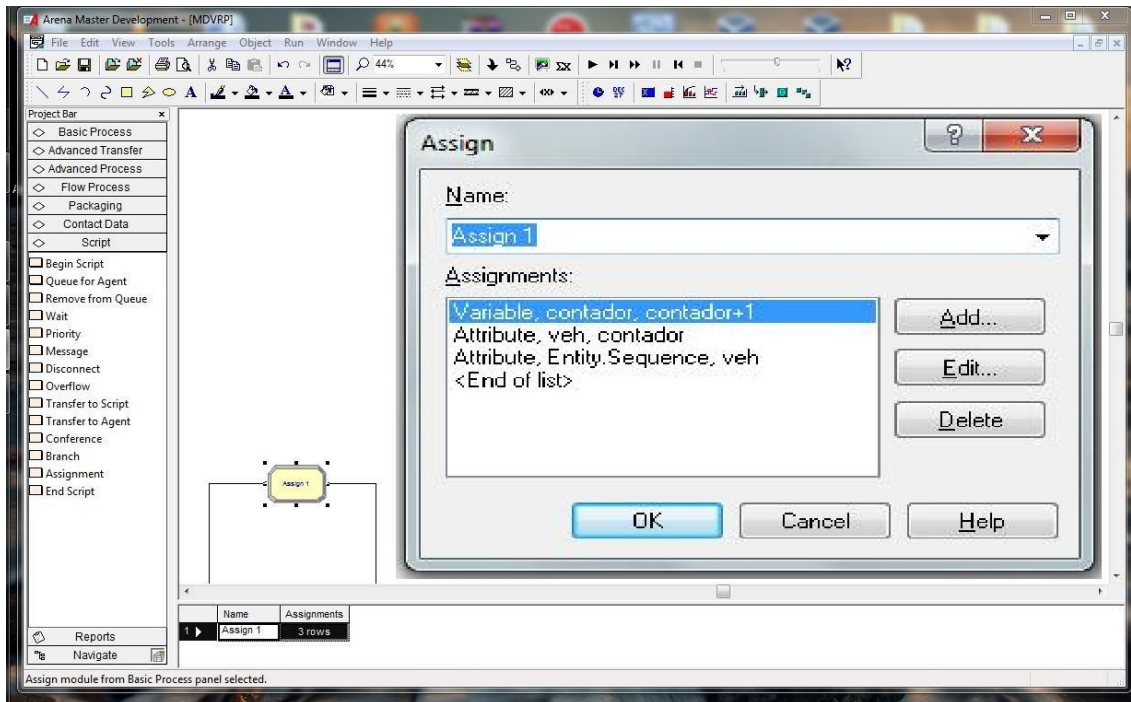


El módulo assign se estable:

Variable contador con la finalidad realizar un conteo de las entidades y a su vez a través de un atributo llamado veh realizar una marca de forma secuencial para especificar que las entidades vehículos tendrán asignado un valor numérico de forma ascendente que permitirá con posterioridad especificar el recorrido que seguirá cada entidad a lo largo del todo el sistema (Tabla 5). En este mismo modulo se establece un atributo del tipo Entity. Sequence, con la finalidad de asignar a las entidades (vehículos) que conformaran el sistema un carácter o nombre que las identifique dentro del modelo y posteriormente especificar el tipo de secuencia o recorrido dela entidad dentro del sistema.

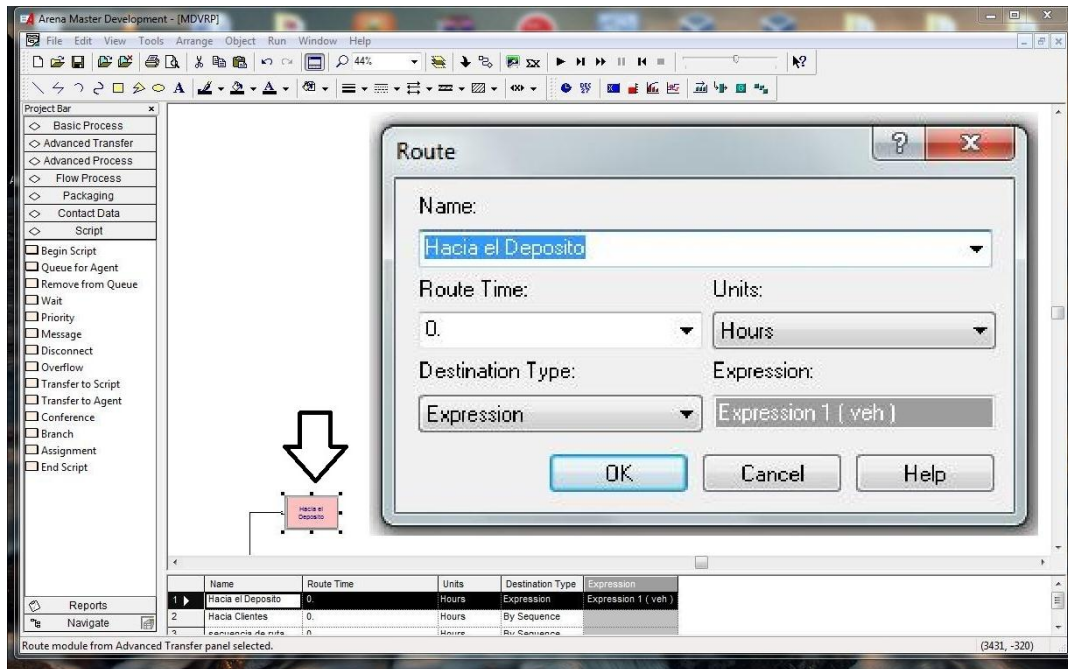


Figura 9. Bloque “Assign” del modelo de simulación



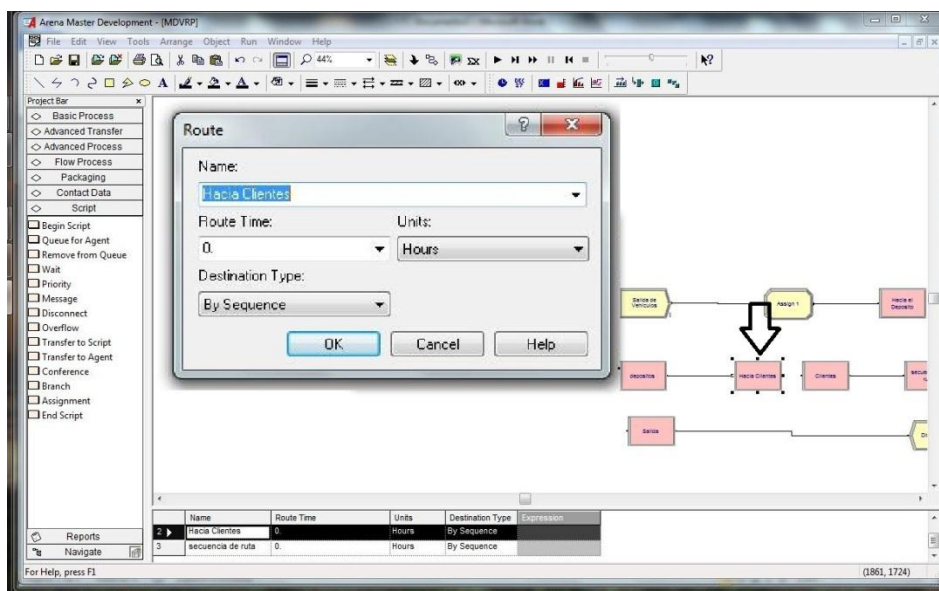
El Bloque route que tiene como nombre “hacia deposito”, se establece a través de un Expression Denominado Expression 1 (veh), en el cual se carga al modelo un conjunto de datos ordenados para el problema de ruteo de vehículos MDVRP (Multi-Depot VRP) simulado en el que se establecen la secuencia que seguirán las entidades de tipo vehículo a lo largo de todo el escenario a investigar.

**Figura 10. Bloque Route (Asignar entidades a depósito)**

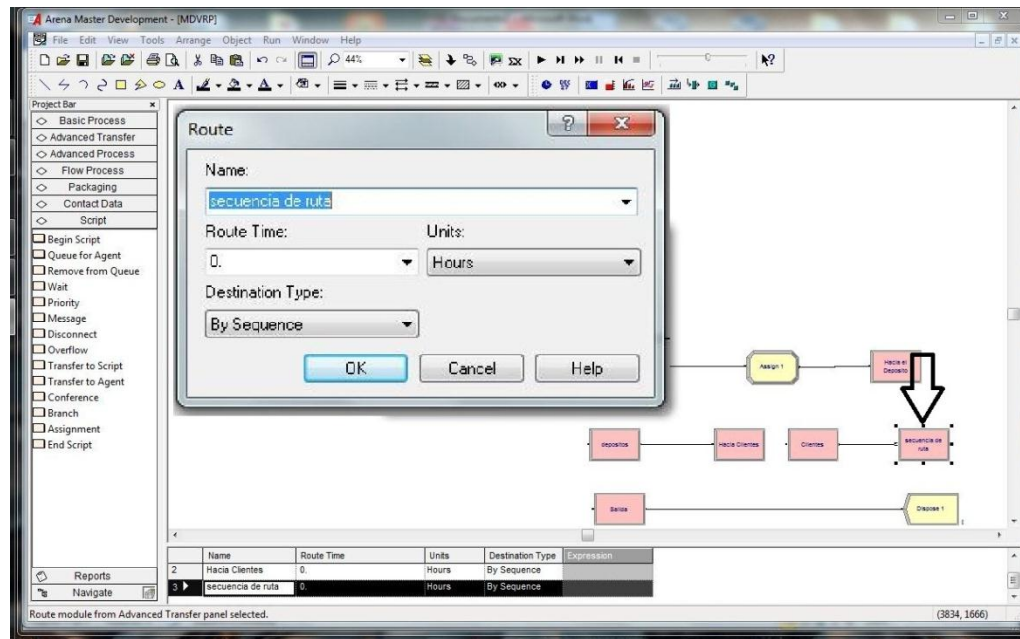


Los módulos route hacia clientes y secuencia de ruta cumplen la función de dar secuencia a las entidades de tipo vehículos según lo especificado Expression 1 (veh) asignado en el módulo route hacia deposito.

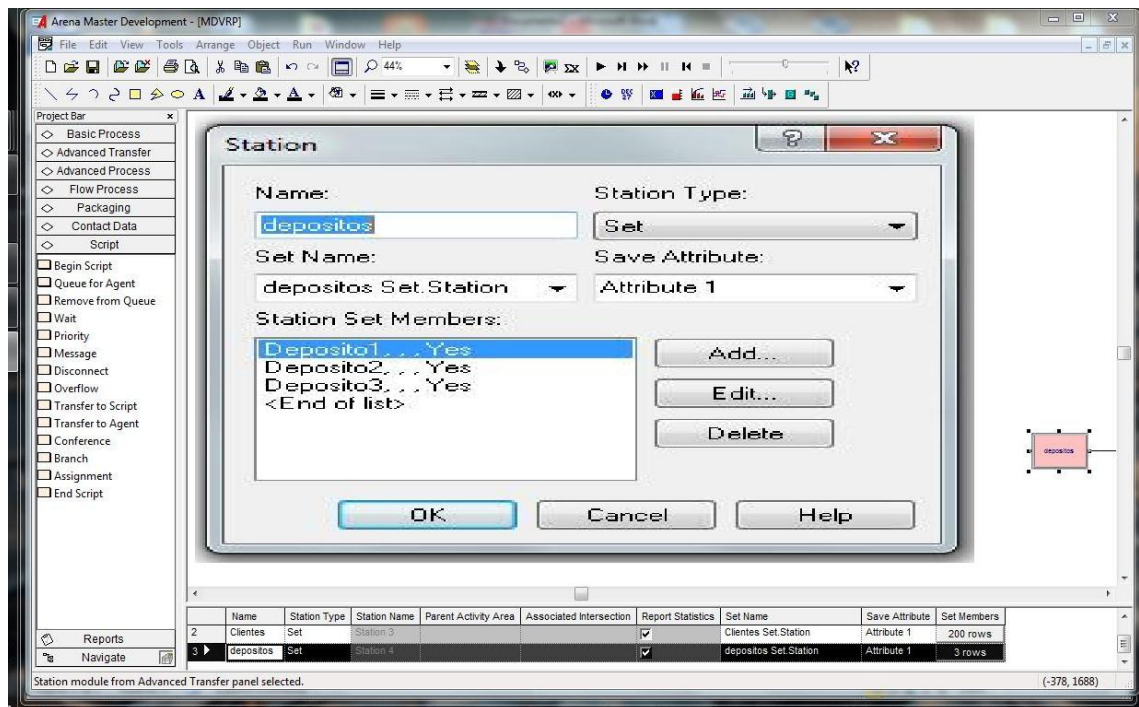
**Figura 11. Bloque Route (Asignar entidades hacia clientes)**



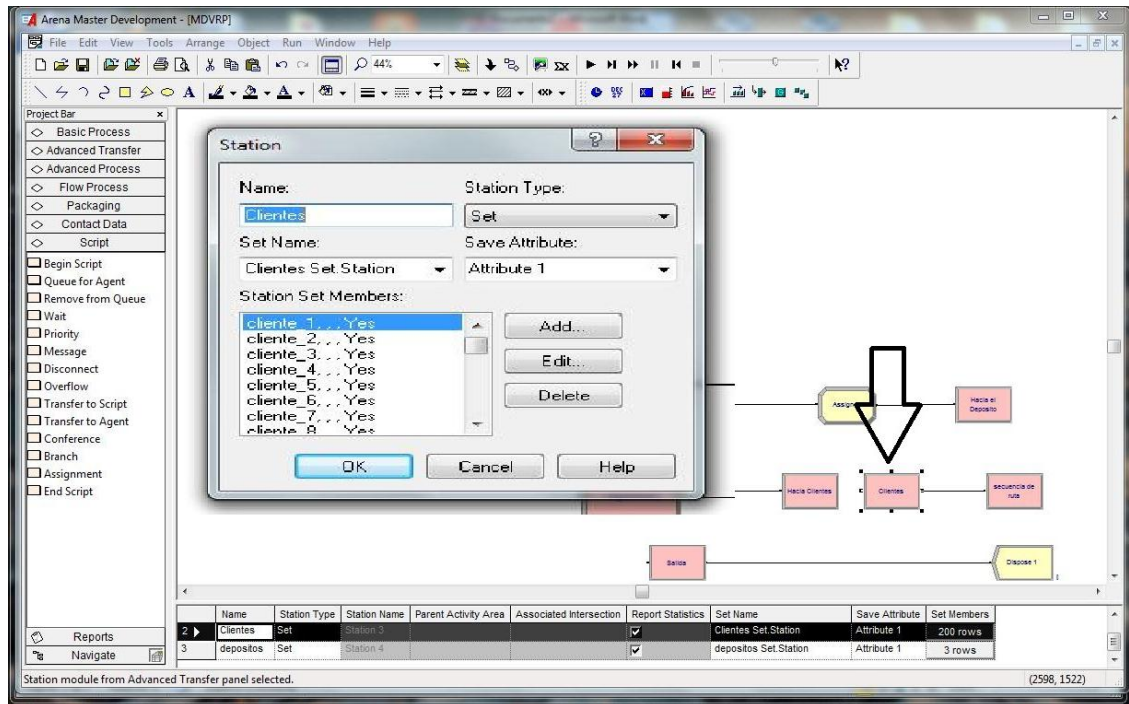
**Figura 12. Bloque Route (Asignar la secuencia de rutas de las entidades entre clientes)**



**Figura 13. Bloque Station (Generar los depósitos)**



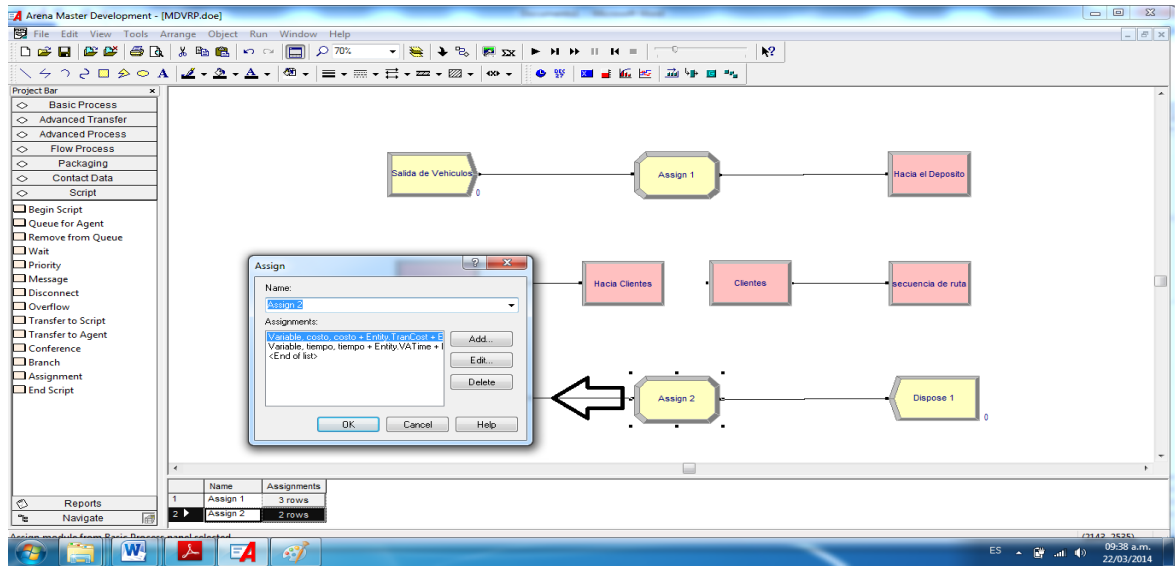
**Figura 14. Bloque Station (Generar los clientes)**



En el módulo assign se establecen dos variables:

La variable tiempo que es la sumatoria del tiempo que tardan todas las entidades en el sistema y la variable costo que es el costo acumulado de todas las entidades que pasan por el sistema.

**Figura 15. Bloque Assign (Cálculo del tiempo y del costo de las entidades en el sistema)**



## 6.3.2 ESCENARIOS DE SIMULACION

### 6.3.2.1 ESCENARIO DETERMINISTICO

Un escenario determinístico está dado por variables de decisión fijas, a las cuales al hacerles medición en un intervalo de tiempo dado siempre arrojan los mismos resultados. En el problema de simulación se plantearon ocho (8) escenarios de tipo determinístico como se muestran a continuación:

**Tabla 12. Escenarios determinísticos analizados**

<b>ESCENARIO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
DET. DEO. ACT	Determinístico Distancias Euclidianas Optimas Actuales. Ver Anexo 1, Anexo 2
DET. MRO. ACT	Determinístico Distancias Reales Optimizadas Actuales. Ver Anexo3, Anexo 4
DET. TRO. ACT	Determinístico Tiempos Reales Optimizados Actuales. Ver Anexo 5, Anexo 6
DET. NO. ACT	Determinístico No Optimizado Actual. Ver Anexo 7, Anexo 8
DET. DEO. MD	Determinístico Distancias Euclidianas Optimizadas Mínima Distancia. Ver Anexo 9, Anexo 10
DET. MRO. MD	Determinístico Distancias Reales Optimizadas Mínima Distancia. Ver Anexo 11, Anexo 12
DET. TRO. MD	Determinístico Tiempos Reales Optimizados Mínima Distancia. Ver Anexo 13, Anexo 14
DET. NO. MD	Determinístico No Optimizado Mínima Distancia. Ver Anexo 7, Anexo 8

### 6.3.2.2 ESCENARIO ESTOCASTICO

Un escenario estocástico es aquel que está conformado por variables de decisión de tipo aleatorio, a las cuales al realizarles medición en un intervalo de tiempo dado tienden a arrojar resultados aleatorios. En el problema de simulación se plantearon ocho (8) escenarios de tipo estocástico como se muestran a continuación:

**Tabla 13. Escenarios estocásticos analizados**

<b>ESCENARIO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
EST. DEO. ACT	Estocástico Distancias Euclidianas Óptimas Actuales. Ver Anexo 15, Anexo 16, Anexo 17, Anexo 18
EST. MRO. ACT	Estocástico Distancias Reales Optimizadas Actuales. Ver Anexo 19, Anexo 20, Anexo 21, Anexo 22
EST. TRO. ACT	Estocástico Tiempos Reales Optimizados Actuales. Ver Anexo 23, Anexo 24, Anexo 25, Anexo 26
EST. NO. ACT	Estocástico No Optimizado Actual. Ver Anexo 27, Anexo 28, Anexo 29, Anexo 30
EST. DEO. MD	Estocástico Distancias Euclidianas Optimizadas Mínima Distancia. Ver Anexo 31, Anexo 32, Anexo 33, Anexo 34
EST. MRO. MD	Estocástico Distancias Reales Optimizadas Mínima Distancia. Ver Anexo 35, Anexo 36, Anexo 37, Anexo 38
EST. TRO. MD	Estocástico Tiempos Reales Optimizados Mínima Distancia. Ver Anexo 39, Anexo 40, Anexo 41, Anexo 42
EST. NO. MD	Estocástico No Optimizado Mínima Distancia. Ver Anexo 27, Anexo 28, Anexo 29, Anexo 30

## **7. DISEÑO DEL EXPERIMENTO**

Instancia experimental: se trabajó con un sistema de distribución de agua en el departamento de la Guajira, en donde se aplica un Diseño de experimentos a los resultados obtenidos en la fase de Modelación del SMDVRP. Para realizar el diseño de experimentos se trabajó con el software estadístico Minitab v.16. Por tal razón fue necesario definir los siguientes elementos para el caso de estudio:

### **7.2 Factores de Diseño**

Para la aplicación del Diseño de experimentos al caso de estudio se tuvieron en cuenta los siguientes factores de diseño:

#### **7.2.1 Naturaleza del Problema (NAT)**

De acuerdo al factor denominado **Naturaleza del problema (NAT)** se tienen dos niveles que se definen a continuación:

##### **7.2.1.1 Nivel Determinístico (DET)**

Este nivel representa un costo ideal operacional en donde los tiempos de ruta asignados al modelo de simulación están representados por variables discretas, cuyos resultados obtenidos por la modelación fueron cargados como dos experimentos cuyas variables de respuesta fueron el costo y el tiempo. Ver Anexo 43, Anexo 44.

##### **7.2.1.2 Nivel Estocástico (EST)**

Este nivel representa un tiempo operacional donde los tiempos de ruta asignados al modelo de simulación están representados por variables aleatorias, de forma que los resultados obtenidos por la modelación fueron cargados como dos experimentos cuyas variables de respuesta fueron el costo y el tiempo. Ver Anexo 43, Anexo 44.



## **7.2.2 Rutas de Optimización (RUT)**

De acuerdo al factor denominado **Rutas de Optimización (RUT)** se tienen cuatro niveles de factor que se definen a continuación:

### **7.2.2.1 Nivel No Optimizado (NO)**

Este nivel representa las rutas que siguen los vehículos para realizar los repartos de agua a los clientes de acuerdo con las políticas de distribución de la empresa. Se realizaron dos diseños de experimentos para este nivel acorde con las variables de respuesta del caso de estudio (tiempo y costo). Ver Anexo 43, Anexo 44.

### **7.2.2.2 Nivel de Distancias Euclidianas Optimizadas (DEO)**

Este nivel representa las coordenadas de ubicación de los clientes de la empresa. Se realizaron dos diseños de experimentos para este nivel acorde con las variables de respuesta del caso de estudio (tiempo y costo). Ver Anexo 43, Anexo 44.

### **7.2.2.3 Nivel de Distancias Reales Optimizadas (MRO)**

Este nivel representa las distancias entre clientes de acuerdo a sus coordenadas geográficas. Se realizaron dos diseños de experimentos para este nivel acorde con las variables de respuesta del caso de estudio (tiempo y costo). Ver Anexo 43, Anexo 44.

### **7.2.2.4 Nivel de Tiempos Reales Optimizados (TRO)**

Este nivel representa los tiempos que tarda un vehículo en trasladarse entre clientes. Se realizaron dos diseños de experimentos para este nivel acorde con las variables de respuesta del caso de estudio (tiempo y costo). Ver Anexo 43, Anexo 44.

## **7.2.3 Clusterización (CLU)**

De acuerdo al factor denominado **Clusterización (CLU)** se tienen cuatro niveles de factor que se definen a continuación:

### **7.2.3.1 Nivel Actual (ACT)**

El nivel actual representa la secuencia de ruta que utiliza la empresa en la actualidad para realizar los repartos de agua a las comunidades indígenas. Se

realizaron dos diseños de experimentos para este nivel acorde con las variables de respuesta del caso de estudio (tiempo y costo). Ver Anexo 43, Anexo 44.

### 7.2.3.2 Nivel de Mínima Distancia (MD)

Este nivel está dado por la asignación de clientes a los depósitos de acuerdo al criterio de mínima distancia. Se realizaron dos diseños de experimentos para este nivel acorde con las variables de respuesta del caso de estudio (tiempo y costo). Ver Anexo 43, Anexo 44.

Los factores, niveles y valores de cada nivel del problema se muestran en la Tabla 14.

**Tabla 14. Clasificación de los factores del diseño de experimentos**

	Nombre	Niveles	Valores del Nivel			
Factores	NAT	2	DET	EST		
	RUT	4	NO	DEO	MRO	TRO
	CLU	2	ACT	MD		

NAT: Naturaleza Problema	DET: Determinístico	EST: Estocástico		
RUT: Rutas de Optimización	NO : No Optimizado	DEO: Distancias Euclidianas Optimizadas	MRO: Distancias Reales Optimizadas	TRO: Tiempos Reales Optimizados
CLU: Clusterización	ACT: Actual	MD: Mínima Distancia		

## 7.4 Bloques

En esta parte del diseño de experimento se trabajaron tres bloques, el primer bloque presenta una variabilidad del 5%, el segundo bloque presenta una variabilidad 10% y el tercer bloque presenta una variabilidad del 15%. Dicha variabilidad en los bloques se da con respecto a las variables de respuestas del caso de estudio (costo y tiempo). Los resultados se muestran en Anexo 43 y Anexo 44.

## 7.4 Variables de Respuesta

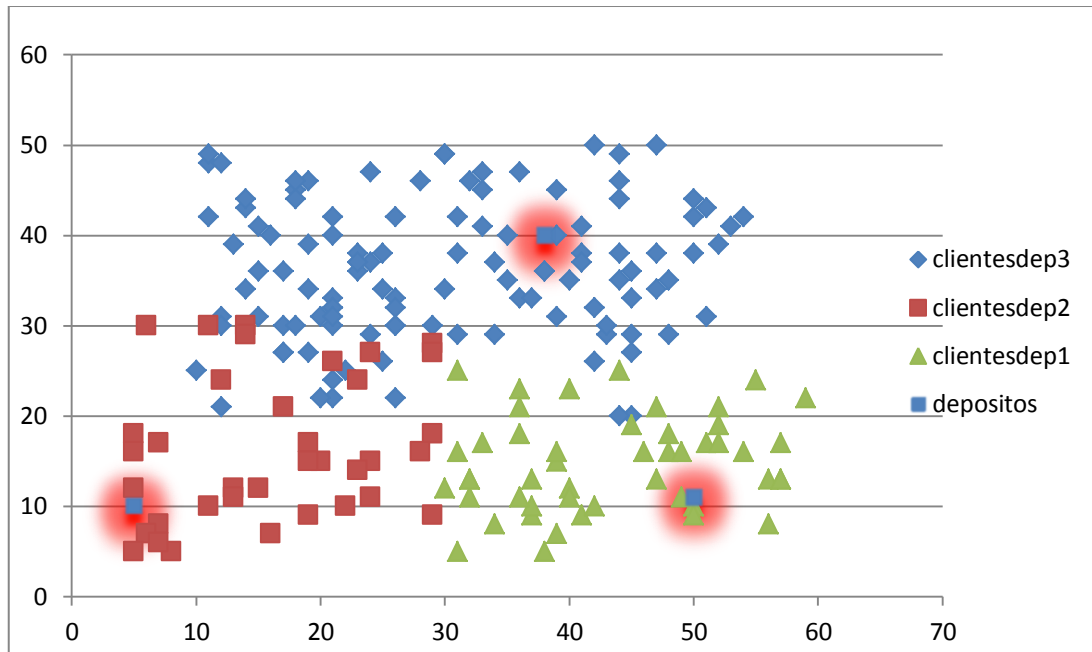
Se trabajó con dos variables de respuesta para el proceso de experimentación en Minitab. Primero se tomó **el costo** como variable principal para determinar su comportamiento con respecto a cada factor de estudio. Ver Anexo 43 .

Luego se realizó el mismo procedimiento pero tomando como variable principal **el tiempo** para determinar su comportamiento con respecto a cada factor de estudio. Ver Anexo 44.

## 8. Análisis y Resultados de la Investigación

### 8.1 Análisis y Resultados de la Clusterización por Depósitos

Figura 16. Asignación de Clientes por Cluster



La Figura 16 muestra la asignación de clientes por cluster, tomando como referencia el criterio de mínima distancia recorrida de cada cliente al depósito más cercano. Esta asignación se realizó a través de un análisis de distancia en la cual se estableció como criterio una comparación analítica desde cada cliente a los tres depósitos con el objeto de determinar la menor distancia recorrida de ese cliente al depósito más cercano posible, de tal forma que esta metodología fue implementada con todo el conjunto de clientes con el fin de clusterizar con el parámetro de mínima distancia recorrida a cada depósito. Según este parámetro al primer depósito se le asignaron 50 clientes, al segundo depósito se le asignaron 36 clientes y al tercer depósito se le asignaron 114 clientes.

## 8.2 Análisis y Resultados del Método de Optimización de Rutas

### ***No Optimizado (NO)***

Para este caso no se hizo el cargue de ninguna instancia al algoritmo ACO, solo se dejaron intactas las rutas con las que la empresa actualmente trabaja para realizar los despachos de agua potable a sus clientes. Ver Anexo 7.

### ***Distancias Euclidianas Optimizadas (DEO)***

En este caso se hizo el cargue de la matriz de las coordenadas de ubicación de los clientes al algoritmo (ACO) y se obtuvo la matriz de rutas. Ver Anexo 1..

### ***Distancias Reales Optimizadas (MRO)***

En esta parte de la investigación se hizo el cargue de la matriz de distancias entre clientes al algoritmo (ACO) y se obtuvo la matriz de rutas. Ver Anexo 3.

### ***Tiempos Reales Optimizados (TRO)***

En este caso se realiza el cargue de la matriz de tiempos entre clientes al algoritmo (ACO) y se obtiene la matriz de rutas. Ver Anexo 5.

<b>RUTAS OPTIMIZACIÓN</b>	<b>ANEXO</b>
DEO. ACT	Anexo 15
MRO. ACT	Anexo 19
TRO. ACT	Anexo 23
NO. ACT	Anexo 27
DEO. MD	Anexo 31
MRO. MD	Anexo 35
TRO. MD	Anexo 39
NO. MD	Anexo 27

Ruta	Definición
DEO. ACT	Distancias Euclidianas Optimas Actuales
MRO. ACT	Distancias Reales Optimizadas Actuales
TRO. ACT	Tiempos Reales Optimizados Actuales
NO. ACT	No Optimizado Actual
DEO. MD	Distancias Euclidianas Optimizadas Mínima Distancia
MRO. MD	Distancias Reales Optimizadas Mínima Distancia
TRO. MD	Tiempos Reales Optimizados Mínima Distancia
NO. MD	No Optimizado Mínima Distancia

### 8.3 Análisis y Resultados del Modelo de Simulación

Los resultados obtenidos de acuerdo con las variables de respuesta del caso de estudio para el modelo determinístico se presentan en la Tabla 15. Para este modelo solo se trabajó con una sola réplica ya que debido a la naturaleza determinística se obtiene un solo resultado por cada variable de respuesta.

**Tabla 15. Resultados de Escenarios determinísticos (costo y tiempo)**

ESCENARIOS	R 1	Columna1
	COSTO	TIEMPO (min)
<b>DET. DEO. ACT</b>	\$ 15.778.000,00	266,3
<b>DET. MRO. ACT</b>	\$ 11.820.000,00	196,7
<b>DET. TRO. ACT</b>	\$ 12.045.000,00	200,75
<b>DET. NO. ACT</b>	\$ 15.654.000,00	200,75
<b>DET. DEO. MD</b>	\$ 15.152.000,00	225,53
<b>DET. MRO. MD</b>	\$ 11.643.000,00	194,05
<b>DET. TRO. MD</b>	\$ 11.467.000,00	191,12
<b>DET. NO. MD</b>	\$ 15.654.000,00	200,75

Escenario	Definición
DET. DEO. ACT	Determinístico Distancias Euclidianas Optimas Actuales
DET. MRO. ACT	Determinístico Distancias Reales Optimizadas Actuales
DET. TRO. ACT	Determinístico Tiempos Reales Optimizados Actuales
DET. NO. ACT	Determinístico No Optimizado Actual
DET. DEO. MD	Determinístico Distancias Euclidianas Optimizadas Mínima Distancia
DET. MRO. MD	Determinístico Distancias Reales Optimizadas Mínima Distancia
DET. TRO. MD	Determinístico Tiempos Reales Optimizados Mínima Distancia
DET. NO. MD	Determinístico No Optimizado Mínima Distancia

Los resultados obtenidos de acuerdo con las variables de respuesta del caso de estudio para la modelación estocástica del SMDVRP se presentan en la Tabla 16, Tabla 17, Tabla 18, con una variabilidad del 5%, 10% y 15% respectivamente con respecto al costo y al tiempo determinístico. Para la modelación estocástica del caso del estudio se realizaron diez réplicas debido a la naturaleza estocástica del tiempo.

**Tabla 16. Resultados de Escenarios estocásticos (costo y tiempo), con variación del 5% del tiempo determinístico**

ESCENARIOS	PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EST. DEO. ACT	EST. MRO. ACT	EST. TRO. ACT	EST. NO. ACT	EST. DEO. MD	EST. MRO. MD	EST. TRO. MD	EST. NO. MD
R 1	COSTO	\$ 15.964.968,00	\$ 11.803.535,00	\$ 12.093.942,00	\$ 15.666.227,00	\$ 15.158.495,00	\$ 11.662.399,00	\$ 11.487.300,00	\$ 15.666.227,00
	TIEMPO (min)	266,08	196,73	201,57	261,1	252,64	194,37	191,45	261,1
R 2	COSTO	\$ 16.031.008,00	\$ 11.819.287,00	\$ 12.016.156,00	\$ 15.735.675,00	\$ 15.156.709,00	\$ 11.638.946,00	\$ 11.463.136,00	\$ 15.735.675,00
	TIEMPO (min)	267,18	196,99	200,27	262,26	252,61	193,98	191,05	\$ 262,26
R 3	COSTO	\$ 16.017.060,00	\$ 11.778.101,00	\$ 12.038.539,00	\$ 15.630.935,00	\$ 15.151.098,00	\$ 11.626.956,00	\$ 11.487.123,00	\$ 15.630.935,00
	TIEMPO (min)	266,95	196,3	200,64	260,52	252,53	193,78	191,45	\$ 260,52
R 4	COSTO	\$ 15.864.589,00	\$ 11.851.891,00	\$ 11.992.878,00	\$ 15.553.916,00	\$ 15.094.232,00	\$ 11.625.287,00	\$ 11.443.603,00	\$ 15.553.916,00
	TIEMPO (min)	264,41	197,53	199,88	256,23	251,57	193,75	190,73	\$ 256,23
R 5	COSTO	\$ 15.927.607,00	\$ 11.820.393,00	\$ 12.108.509,00	\$ 15.628.120,00	\$ 15.138.187,00	\$ 11.640.601,00	\$ 11.485.083,00	\$ 15.628.120,00
	TIEMPO (min)	265,46	197,01	201,81	260,47	252,3	194,01	191,42	\$ 260,47
R 6	COSTO	\$ 15.947.278,00	\$ 11.772.395,00	\$ 12.066.293,00	\$ 15.650.985,00	\$ 15.102.407,00	\$ 11.642.808,00	\$ 11.467.017,00	\$ 15.650.985,00
	TIEMPO (min)	265,74	196,21	201,1	260,85	251,71	194,05	191,12	\$ 260,85
R 7	COSTO	\$ 15.973.582,00	\$ 11.696.011,00	\$ 12.032.884,00	\$ 15.635.445,00	\$ 15.138.881,00	\$ 11.686.942,00	\$ 11.476.218,00	\$ 15.635.445,00
	TIEMPO (min)	266,23	194,93	200,55	260,59	252,31	194,78	191,27	\$ 260,59
R 8	COSTO	\$ 15.866.550,00	\$ 11.809.651,00	\$ 11.973.098,00	\$ 15.571.426,00	\$ 15.052.039,00	\$ 11.584.828,00	\$ 11.407.195,00	\$ 15.571.426,00
	TIEMPO (min)	264,44	196,83	199,55	259,52	250,87	193,08	190,12	\$ 259,52
R 9	COSTO	\$ 16.009.445,00	\$ 11.841.613,00	\$ 12.039.439,00	\$ 15.634.686,00	\$ 15.254.851,00	\$ 11.642.876,00	\$ 11.430.500,00	\$ 15.634.686,00
	TIEMPO (min)	266,82	193,36	200,66	260,58	254,25	194,05	190,51	\$ 260,58
R 10	COSTO	\$ 15.993.208,00	\$ 11.796.082,00	\$ 12.064.127,00	\$ 15.714.756,00	\$ 15.181.532,00	\$ 11.664.250,00	\$ 11.497.892,00	\$ 15.714.756,00
	TIEMPO (min)	266,55	196,6	201,07	261,91	253,03	194,4	191,63	\$ 261,91

**Tabla 17. Resultados de Escenarios estocásticos (costo y tiempo), con variación del 10% del tiempo determinístico**

ESCENARIOS	PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EST. DEO. ACT	EST. MRO. ACT	EST. TRO. ACT	EST. NO. ACT	EST. DEO. MD	EST. MRO. MD	EST. TRO. MD	EST. NO. MD
R 1	COSTO	\$ 16.113.464,00	\$ 11.779.939,00	\$ 12.092.887,00	\$ 15.691.283,00	\$ 15.220.636,00	\$ 11.577.042,00	\$ 11.528.655,00	\$ 15.691.283,00
	TIEMPO (min)	268,56	196,33	201,55	261,52	253,68	192,95	192,14	261,52
R 2	COSTO	\$ 16.167.708,00	\$ 11.735.832,00	\$ 12.079.639,00	\$ 15.693.435,00	\$ 15.238.091,00	\$ 11.683.986,00	\$ 11.477.016,00	\$ 15.693.435,00
	TIEMPO (min)	269,46	195,6	201,33	261,56	253,97	194,73	191,28	\$ 261,56
R 3	COSTO	\$ 15.999.462,00	\$ 11.748.837,00	\$ 12.089.968,00	\$ 15.866.719,00	\$ 15.083.088,00	\$ 11.751.628,00	\$ 11.598.826,00	\$ 15.866.719,00
	TIEMPO (min)	266,66	195,81	201,5	264,45	251,38	195,86	193,31	\$ 264,45
R 4	COSTO	\$ 16.021.756,00	\$ 11.826.751,00	\$ 11.913.082,00	\$ 15.680.870,00	\$ 15.137.150,00	\$ 11.646.256,00	\$ 11.488.124,00	\$ 15.680.870,00
	TIEMPO (min)	267,03	197,11	198,55	261,35	252,29	194,1	191,47	\$ 261,35
R 5	COSTO	\$ 15.958.396,00	\$ 11.745.841,00	\$ 12.025.246,00	\$ 15.712.004,00	\$ 15.121.930,00	\$ 11.625.311,00	\$ 11.436.844,00	\$ 15.712.004,00
	TIEMPO (min)	256,97	195,76	200,42	261,87	252,03	193,76	190,61	\$ 261,87
R 6	COSTO	\$ 16.027.788,00	\$ 11.832.359,00	\$ 11.971.764,00	\$ 15.498.362,00	\$ 14.954.292,00	\$ 11.459.307,00	\$ 11.370.145,00	\$ 15.498.362,00
	TIEMPO (min)	267,13	197,21	199,53	258,31	249,24	190,99	189,5	\$ 258,31
R 7	COSTO	\$ 15.949.742,00	\$ 11.664.460,00	\$ 12.052.659,00	\$ 15.564.013,00	\$ 15.260.534,00	\$ 11.581.200,00	\$ 11.588.600,00	\$ 15.564.013,00
	TIEMPO (min)	265,83	194,41	200,88	259,4	254,34	193,02	192,14	\$ 259,40
R 8	COSTO	\$ 16.111.128,00	\$ 11.714.926,00	\$ 12.067.961,00	\$ 15.541.363,00	\$ 15.086.969,00	\$ 11.671.058,00	\$ 11.354.315,00	\$ 15.541.363,00
	TIEMPO (min)	258,52	195,25	201,13	259,02	251,45	194,52	189,24	\$ 259,02
R 9	COSTO	\$ 16.123.257,00	\$ 11.713.098,00	\$ 11.973.987,00	\$ 15.749.408,00	\$ 15.749.408,00	\$ 11.795.782,00	\$ 11.422.265,00	\$ 15.749.408,00
	TIEMPO (min)	268,72	195,22	199,57	262,49	254,13	196,6	190,37	\$ 262,49
R 10	COSTO	\$ 16.124.223,00	\$ 11.815.235,00	\$ 12.038.255,00	\$ 15.808.623,00	\$ 15.212.637,00	\$ 11.639.671,00	\$ 11.470.175,00	\$ 15.808.623,00
	TIEMPO (min)	268,74	196,92	200,64	263,48	253,54	193,99	191,17	\$ 263,48

**Tabla 18. Resultados de Escenarios estocásticos (costo y tiempo), con variación del 15% del tiempo determinístico**

ESCENARIOS	PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EST. DEO. ACT	EST. MRO. ACT	EST. TRO. ACT	EST. NO. ACT	EST. DEO. MD	EST. MRO. MD	EST. TRO. MD	EST. NO. MD
R 1	COSTO	\$ 15.934.201,00	\$ 11.741.709,00	\$ 12.085.833,00	\$ 15.657.265,00	\$ 15.245.369,00	\$ 11.720.080,00	\$ 11.544.657,00	\$ 15.657.265,00
	TIEMPO (min)	265,57	195,7	201,43	201,43	254,09	195,33	192,41	201,43
R 2	COSTO	\$ 16.056.589,00	\$ 11.842.618,00	\$ 11.876.650,00	\$ 15.806.339,00	\$ 15.184.368,00	\$ 11.599.137,00	\$ 11.336.906,00	\$ 15.806.339,00
	TIEMPO (min)	267,61	197,38	197,94	263,44	253,07	192,99	188,95	\$ 263,44
R 3	COSTO	\$ 15.645.291,00	\$ 11.859.853,00	\$ 12.119.954,00	\$ 15.706.229,00	\$ 15.283.819,00	\$ 11.748.146,00	\$ 11.513.893,00	\$ 15.706.229,00
	TIEMPO (min)	260,75	197,66	202	261,77	254,73	195,8	191,9	\$ 261,77
R 4	COSTO	\$ 15.789.892,00	\$ 11.755.554,00	\$ 11.013.035,00	\$ 15.393.983,00	\$ 14.904.870,00	\$ 11.574.270,00	\$ 11.318.834,00	\$ 15.393.983,00
	TIEMPO (min)	263,16	195,93	198,55	256,57	248,41	192,9	188,65	\$ 256,57
R 5	COSTO	\$ 15.911.785,00	\$ 11.848.301,00	\$ 12.076.632,00	\$ 15.579.553,00	\$ 15.042.032,00	\$ 11.777.204,00	\$ 11.537.741,00	\$ 15.579.553,00
	TIEMPO (min)	265,2	197,47	201,28	259,66	250,7	196,29	192,3	\$ 259,66
R 6	COSTO	\$ 15.865.132,00	\$ 11.776.218,00	\$ 1.212.759,00	\$ 15.493.494,00	\$ 15.211.462,00	\$ 11.642.926,00	\$ 11.450.052,00	\$ 15.493.494,00
	TIEMPO (min)	264,42	196,27	202,13	258,22	253,52	194,05	190,83	\$ 258,22
R 7	COSTO	\$ 15.577.812,00	\$ 11.861.034,00	\$ 11.959.455,00	\$ 15.629.449,00	\$ 14.976.924,00	\$ 11.601.722,00	\$ 11.403.425,00	\$ 15.629.449,00
	TIEMPO (min)	259,63	197,68	199,32	260,49	249,62	193,36	190,06	\$ 260,49
R 8	COSTO	\$ 15.967.834,00	\$ 11.702.444,00	\$ 11.918.468,00	\$ 15.192.122,00	\$ 14.884.373,00	\$ 11.511.532,00	\$ 11.273.519,00	\$ 15.192.122,00
	TIEMPO (min)	266,13	195,04	198,64	253,2	148,07	191,86	187,89	\$ 253,20
R 9	COSTO	\$ 16.089.634,00	\$ 11.740.607,00	\$ 11.920.313,00	\$ 15.694.140,00	\$ 15.320.775,00	\$ 11.586.323,00	\$ 11.395.773,00	\$ 15.694.140,00
	TIEMPO (min)	268,16	195,68	198,67	261,57	255,35	193,11	189,93	\$ 261,57
R 10	COSTO	\$ 16.225.581,00	\$ 11.756.440,00	\$ 12.196.434,00	\$ 15.801.593,00	\$ 15.046.661,00	\$ 11.830.101,00	\$ 11.519.052,00	\$ 15.801.593,00
	TIEMPO (min)	270,43	195,94	202,82	263,36	250,78	197,17	191,98	\$ 263,36



## 8.4 Análisis y Resultados del Diseño de Experimentos

### 8.4.1 Variable de respuesta de Costos

Tabla 19. Resultados Experimento Factorial General (COSTO)

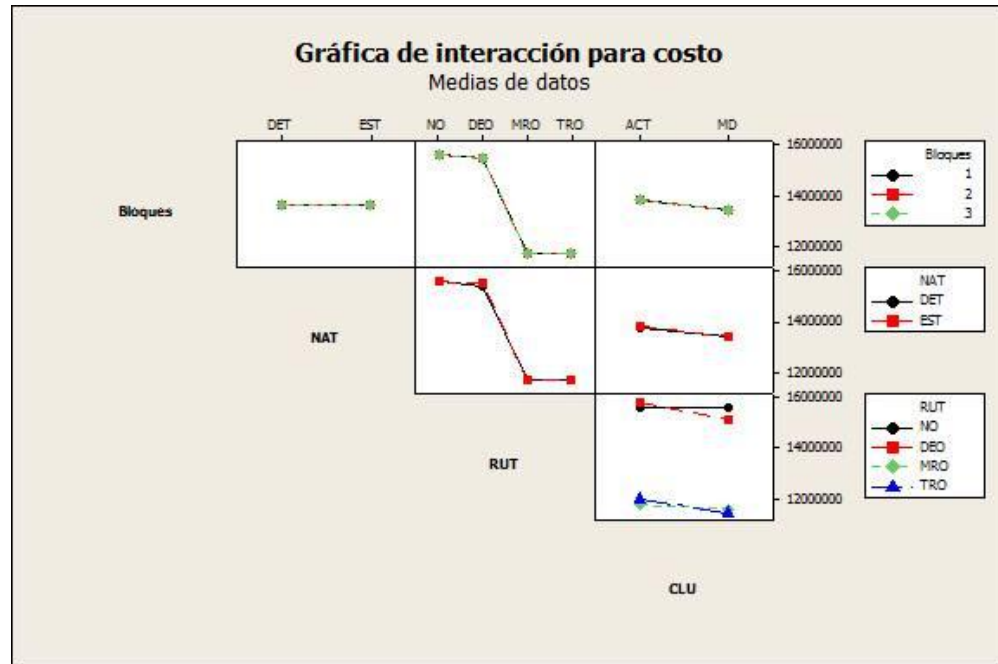
ANOVA UNIDIRECCIONAL	NIVEL	MEDIA	DESV.EST	p-valor
costo vs. NAT	DET	\$ 13.651.625,00	\$ 1.962.746,00	0,979
	EST	\$ 13.666.798,00	\$ 1.988.617,00	
costo vs. RUT	NO	\$ 15.648.109,00	\$ 6.153,00	0
	DEO	\$ 15.508.093,00	\$ 382.642,00	
	MRO	\$ 11.725.871,00	\$ 87.642,00	
	TRO	\$ 11.754.773,00	\$ 301.874,00	
costo vs. CLU	ACT	\$ 13.842.529,00	\$ 1.961.122,00	0,522
	MD	\$ 13.475.895,00	\$ 1.972.551,00	
costo vs. Bloques	1	\$ 13.659.212,00	\$ 1.997.571,00	1
	2	\$ 13.659.212,00	\$ 1.997.571,00	
	3	\$ 13.659.212,00	\$ 1.997.571,00	

Factores de Diseño	Niveles de Factor			
NAT: Naturaleza del Problema	DET: Determinístico		EST: Estocástico	
RUT: Rutas de Optimización	NO: No Optimizado	DEO: Distancias Euclidianas Optimizadas	MRO: Distancias Reales Optimizadas	TRO: Tiempos Reales Optimizados
CLU: Clusterización	ACT: Actual		MD: Mínima Distancia	

Bloques	1: Variabilidad 5%	2: Variabilidad 10%	3: Variabilidad 15%
---------	--------------------	---------------------	---------------------

De acuerdo con el *p-valor* que muestra la Tabla 19, el factor que es significativo para el costo es: las Rutas de Optimización (**RUT**). Esto se deduce por que dicho *p-valor* de este factor es menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). Esto significa que la empresa debe considerar los niveles de este factor para minimizar sus costos operacionales a la hora de realizar labores de distribución de agua a sus clientes.

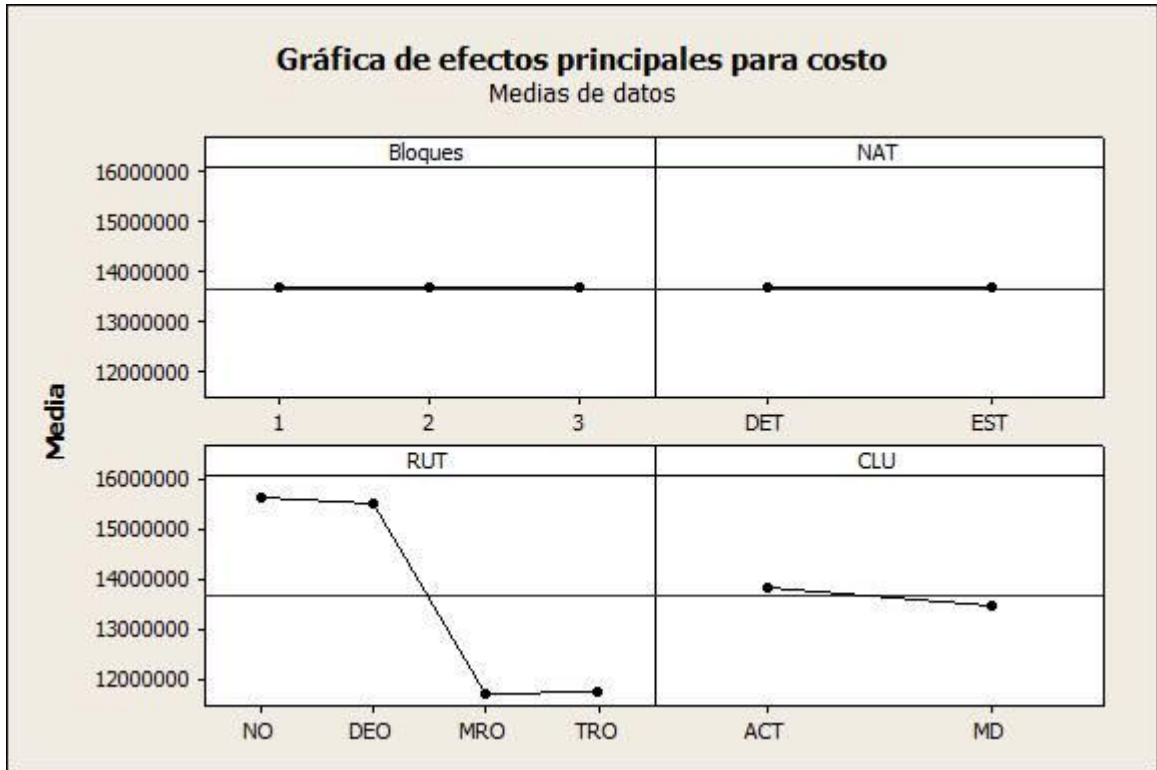
**Figura 17. Gráfica de interacción para costo**



Factores de Diseño	Niveles de Factor			
<b>NAT: Naturaleza del Problema</b>	DET: Determinístico		EST: Estocástico	
<b>RUT: Rutas de Optimización</b>	NO: No Optimizado	DEO: Distancias Euclidianas Optimizadas	MRO: Distancias Reales Optimizadas	TRO: Tiempos Reales Optimizados
<b>CLU: Clusterización</b>	ACT: Actual		MD: Mínima Distancia	

La gráfica muestra que para los escenarios de clusterización (CLU): el actual (ACT) y el de mínima distancia (MD) la variable costo presenta variabilidad mínima cuando se desplaza de un escenario a otro. Sin embargo cuando se da una mirada a los métodos de optimización de rutas se observa que los costos son representativos para los niveles de optimización de distancias reales (MRO) y optimización de tiempos reales (TRO), y de ser aplicada estas políticas representarían un ahorro significativo para la empresa.

**Figura 18. Gráfica de efectos principales para costo**

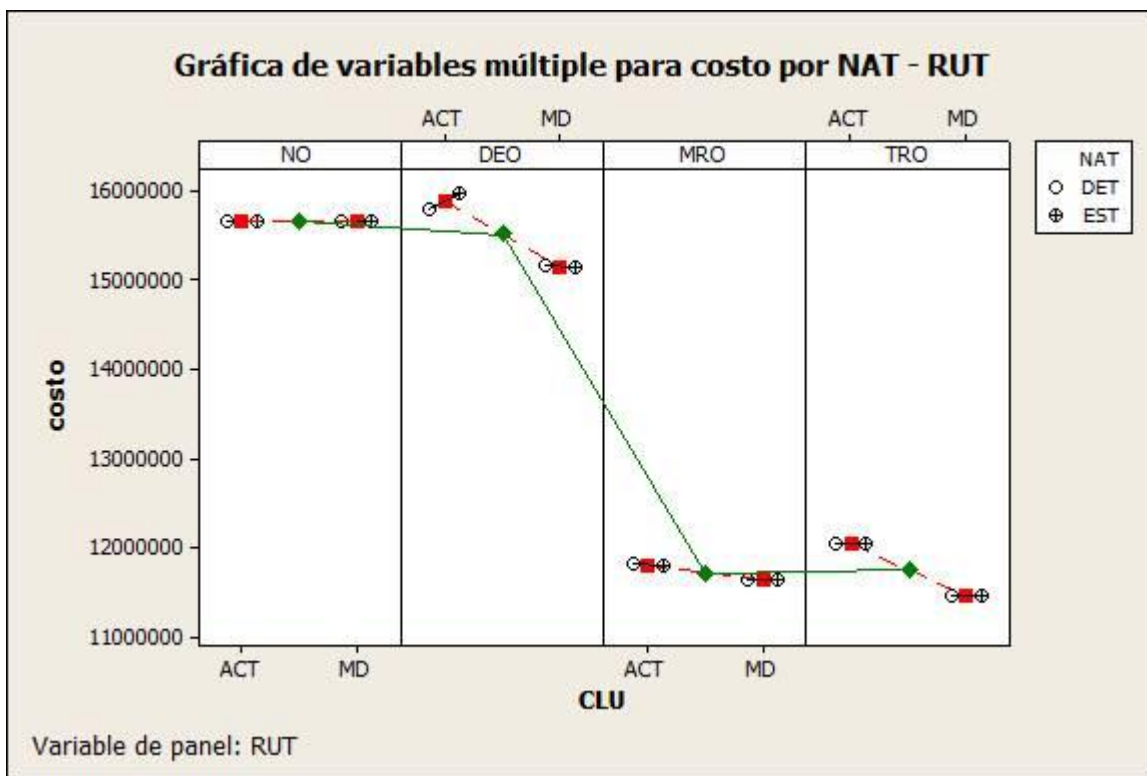


Factores de Diseño	Niveles de Factor			
<b>NAT: Naturaleza del Problema</b>	DET: Determinístico		EST: Estocástico	
<b>RUT: Rutas de Optimización</b>	NO: No Optimizado	DEO: Distancias Euclidianas Optimizadas	MRO: Distancias Reales Optimizadas	TRO: Tiempos Reales Optimizados
<b>CLU: Clusterización</b>	ACT: Actual		MD: Mínima Distancia	

<b>Bloques</b>	1: Variabilidad 5%	2: Variabilidad 10%	3: Variabilidad 15%
----------------	--------------------	---------------------	---------------------

La gráfica muestra que la variabilidad establecida para los bloques así como para la naturaleza del caso no es representativa para ninguno de los niveles que forman parte de estos, ya que el costo permanece constante en todos los puntos.

Figura 19. Gráfica de variables múltiples para costo por NAT - RUT



Factores de Diseño	Niveles de Factor			
<b>NAT: Naturaleza del Problema</b>	DET: Determinístico		EST: Estocástico	
<b>RUT: Rutas de Optimización</b>	NO: No Optimizado	DEO: Distancias Euclidianas Optimizadas	MRO: Distancias Reales Optimizadas	TRO: Tiempos Reales Optimizados
<b>CLU: Clusterización</b>	ACT: Actual		MD: Mínima Distancia	

Teniendo en cuenta los factores: naturaleza del problema y los métodos de optimización de rutas se infiere que los métodos de distancias reales optimizadas (MRO) y tiempos reales optimizados (TRO) arrojan ahorros en los costos de aproximadamente el 25% con relación al escenario actual (ACT) no optimizado (NO), el cual es utilizado en para la realización de los repartos en la empresa que es objeto de estudio de la investigación.

## 8.4.2 Variable de Respuesta de Tiempo

Tabla 20. Resultados Experimento Factorial General (TIEMPO)

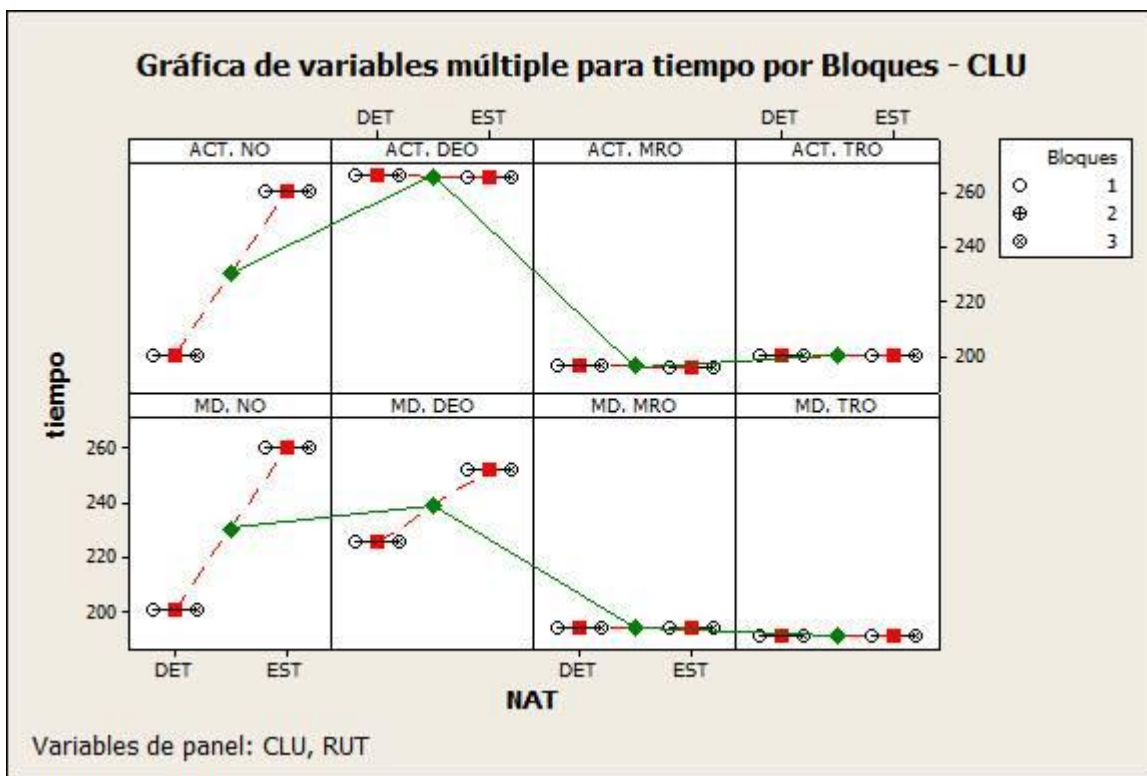
ANOVA UNIDIRECCIONAL	NIVEL	MEDIA (min)	DESV.EST (min)	<i>p-valor</i>
tiempo vs. NAT	DET	209,49	24,10	0,035
	EST	227,65	33,11	
tiempo vs. RUT	NO	230,58	31,15	0
	DEO	252,55	17,32	
	MRO	195,26	1,28	
	TRO	195,91	5,03	
tiempo vs. CLU	ACT	223,48	32,33	0,263
	MD	213,67	27,46	
tiempo vs. Bloques	1	218,57	30,75	1
	2	218,57	30,75	
	3	218,57	30,75	

Factores de Diseño	Niveles de Factor			
<b>NAT: Naturaleza del Problema</b>	DET: Determinístico		EST: Estocástico	
<b>RUT: Rutas de Optimización</b>	NO: No Optimizado	DEO: Distancias Euclidianas Optimizadas	MRO: Distancias Reales Optimizadas	TRO: Tiempos Reales Optimizados
<b>CLU: Clusterización</b>	ACT: Actual		MD: Mínima Distancia	

<b>Bloques</b>	1: Variabilidad 5%	2: Variabilidad 10%	3: Variabilidad 15%
----------------	--------------------	---------------------	---------------------

De acuerdo con el *p-valor* que muestra la Tabla 20, los factores que son significativos para el tiempo son: las Rutas de Optimización (**RUT**) y la Naturaleza del Problema (**NAT**), esto se debe a que el *p-valor* para ambos factores es menor que el nivel de significancia que equivale a ( $\alpha = 0.05$ ). Esto significa que la empresa debe considerar los niveles de cada factor para minimizar sus costos operacionales a la hora de realizar labores de distribución de agua a sus clientes.

Figura 20. Gráfica de variables múltiples para tiempo por Bloques - CLU

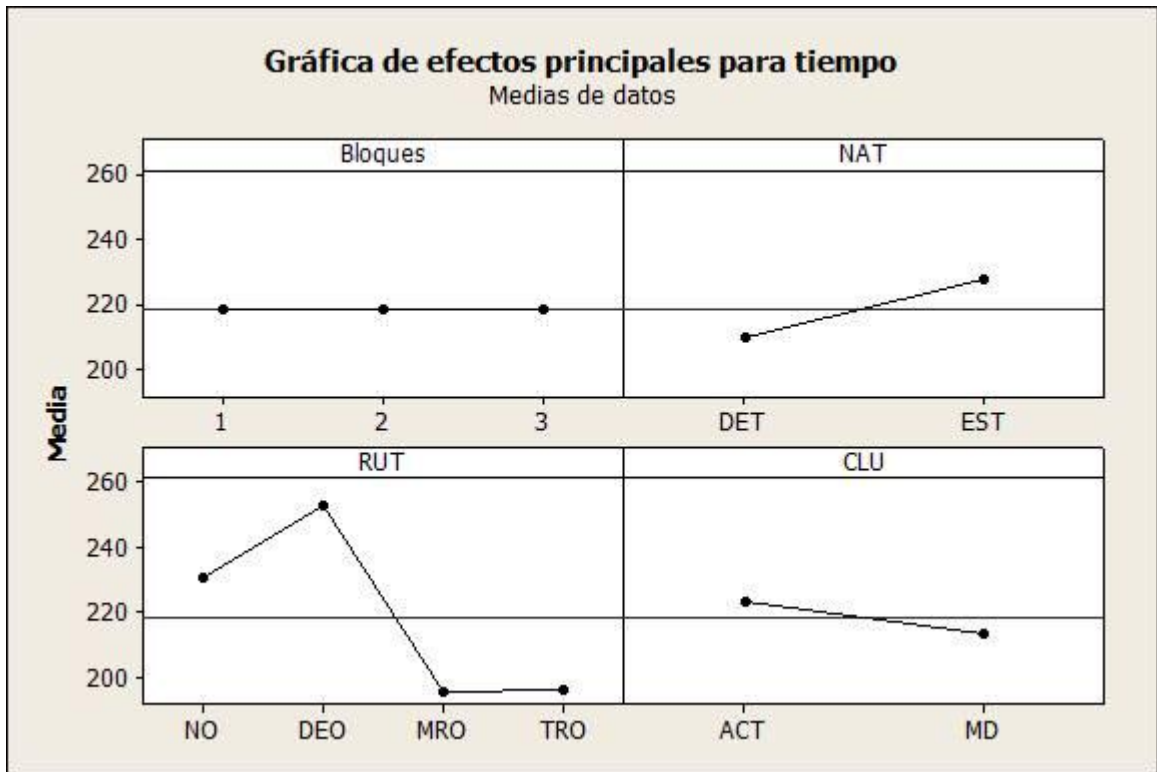


Factores de Diseño	Niveles de Factor			
NAT: Naturaleza del Problema	DET: Determinístico		EST: Estocástico	
RUT: Rutas de Optimización	NO: No Optimizado	DEO: Distancias Euclidianas Optimizadas	MRO: Distancias Reales Optimizadas	TRO: Tiempos Reales Optimizados
CLU: Clusterización	ACT: Actual		MD: Mínima Distancia	

Bloques	1: Variabilidad 5%	2: Variabilidad 10%	3: Variabilidad 15%

La gráfica muestra una comparación entre los tiempos de los métodos de optimización de rutas para una instancia actual y para una instancia de mínima distancia recorrida, se observa que tomando como referente el criterio de mínima distancia en la clusterización se obtienen un mejor desempeño y ahorro en los tiempos de ruta.

**Figura 21. Gráficas de efectos principales para tiempo**

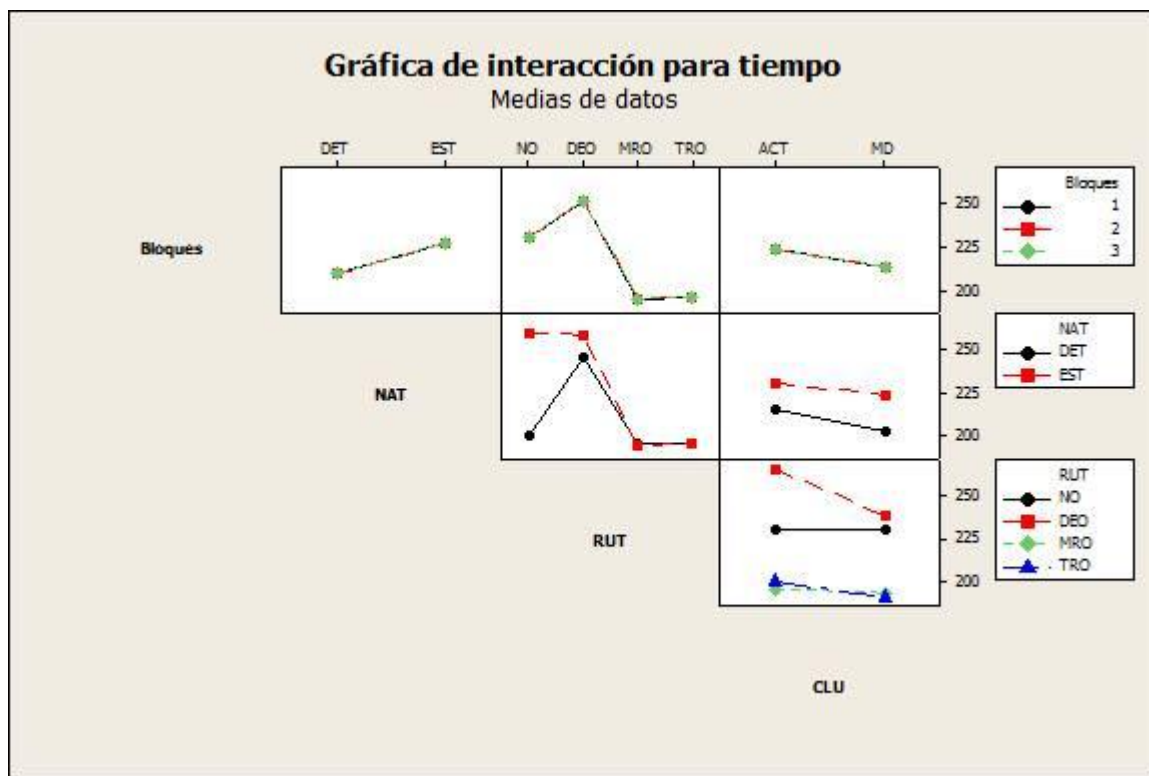


Factores de Diseño	Niveles de Factor			
<b>NAT: Naturaleza del Problema</b>	DET: Determinístico		EST: Estocástico	
<b>RUT: Rutas de Optimización</b>	NO: No Optimizado	DEO: Distancias Euclidianas Optimizadas	MRO: Distancias Reales Optimizadas	TRO: Tiempos Reales Optimizados
<b>CLU: Clusterización</b>	ACT: Actual		MD: Mínima Distancia	

<b>Bloques</b>	1: Variabilidad 5%	2: Variabilidad 10%	3: Variabilidad 15%
----------------	--------------------	---------------------	---------------------

La gráfica muestra que para el tiempo los bloques no son representativos, sin embargo tomando como referente la naturaleza del problema y el escenario de clusterización el ahorro en costos es significativo para el nivel determinístico como para la clusterización por mínima distancia. Para los métodos de optimización de rutas se observa para las distancias reales optimizadas y los tiempos reales optimizados un ahorro significativo del tiempo de viaje establecido para las rutas.

Figura 22. Gráfica de interacción para tiempo



Factores de Diseño	Niveles de Factor			
<b>NAT: Naturaleza del Problema</b>	DET: Determinístico		EST: Estocástico	
<b>RUT: Rutas de Optimización</b>	NO: No Optimizado	DEO: Distancias Euclidianas Optimizadas	MRO: Distancias Reales Optimizadas	TRO: Tiempos Reales Optimizados
<b>CLU: Clusterización</b>	ACT: Actual		MD: Mínima Distancia	

<b>Bloques</b>	1: Variabilidad 5%	2: Variabilidad 10%	3: Variabilidad 15%
----------------	--------------------	---------------------	---------------------



## 8.5 Análisis y Resultados de la Proyección de Costos

**Tabla 21. Proyección de costos con tiempos de rutas determinísticos**

PROYECCIÓN DE COSTOS CON TIEMPOS DE RUTAS DETERMINÍSTICOS						
TIEMPO	1 REPARTO	SEMANA	MES	TRIMESTRE	SEMESTRE	AÑO
DET. DEO. ACT	\$ 15.778.000,00	\$ 31.556.000,00	\$ 126.224.000,00	\$ 378.672.000,00	\$ 757.344.000,00	\$ 1.514.688.000,00
DET. MRO. ACT	\$ 11.820.000,00	\$ 23.640.000,00	\$ 94.560.000,00	\$ 283.680.000,00	\$ 567.360.000,00	\$ 1.134.720.000,00
DET. TRO. ACT	\$ 12.045.000,00	\$ 24.090.000,00	\$ 96.360.000,00	\$ 289.080.000,00	\$ 578.160.000,00	\$ 1.156.320.000,00
DET. NO. ACT	\$ 15.654.000,00	\$ 31.308.000,00	\$ 125.232.000,00	\$ 375.696.000,00	\$ 751.392.000,00	\$ 1.502.784.000,00
DET. DEO. MD	\$ 15.152.000,00	\$ 30.304.000,00	\$ 121.216.000,00	\$ 363.648.000,00	\$ 727.296.000,00	\$ 1.454.592.000,00
DET. MRO. MD	\$ 11.643.000,00	\$ 23.286.000,00	\$ 93.144.000,00	\$ 279.432.000,00	\$ 558.864.000,00	\$ 1.117.728.000,00
DET. TRO. MD	\$ 11.467.000,00	\$ 22.934.000,00	\$ 91.736.000,00	\$ 275.208.000,00	\$ 550.416.000,00	\$ 1.100.832.000,00
DET. NO. MD	\$ 15.654.000,00	\$ 31.308.000,00	\$ 125.232.000,00	\$ 375.696.000,00	\$ 751.392.000,00	\$ 1.502.784.000,00

Escenario	Definición
DET. DEO. ACT	Determinístico Distancias Euclidianas Optimas Actuales
DET. MRO. ACT	Determinístico Distancias Reales Optimizadas Actuales
DET. TRO. ACT	Determinístico Tiempos Reales Optimizados Actuales
DET. NO. ACT	Determinístico No Optimizado Actual
DET. DEO. MD	Determinístico Distancias Euclidianas Optimizadas Mínima Distancia
DET. MRO. MD	Determinístico Distancias Reales Optimizadas Mínima Distancia
DET. TRO. MD	Determinístico Tiempos Reales Optimizados Mínima Distancia
DET. NO. MD	Determinístico No Optimizado Mínima Distancia

**Tabla 22. Proyección de costos 5% de variabilidad en los tiempos**

PROYECCIÓN DE COSTOS 5% DE VARIABILIDAD EN LOS TIEMPOS DE RUTAS						
TIEMPO	1 REPARTO	SEMANA	MES	TRIMESTRE	SEMESTRE	AÑO
EST. DEO. ACT	\$ 15.959.529,50	\$ 31.919.059,00	\$ 127.676.236,00	\$ 383.028.708,00	\$ 766.057.416,00	\$ 1.532.114.832,00
EST. MRO. ACT	\$ 11.798.895,90	\$ 23.597.791,80	\$ 94.391.167,20	\$ 283.173.501,60	\$ 566.347.003,20	\$ 1.132.694.006,40
EST. TRO. ACT	\$ 12.042.586,50	\$ 24.085.173,00	\$ 96.340.692,00	\$ 289.022.076,00	\$ 578.044.152,00	\$ 1.156.088.304,00
EST. NO. ACT	\$ 15.642.217,10	\$ 31.284.434,20	\$ 125.137.736,80	\$ 375.413.210,40	\$ 750.826.420,80	\$ 1.501.652.841,60
EST. DEO. MD	\$ 15.142.843,10	\$ 30.285.686,20	\$ 121.142.744,80	\$ 363.428.234,40	\$ 726.856.468,80	\$ 1.453.712.937,60
EST. MRO. MD	\$ 11.641.589,30	\$ 23.283.178,60	\$ 93.132.714,40	\$ 279.398.143,20	\$ 558.796.286,40	\$ 1.117.592.572,80
EST. TRO. MD	\$ 11.464.506,70	\$ 22.929.013,40	\$ 91.716.053,60	\$ 275.148.160,80	\$ 550.296.321,60	\$ 1.100.592.643,20
EST. NO. MD	\$ 15.642.217,10	\$ 31.284.434,20	\$ 125.137.736,80	\$ 375.413.210,40	\$ 750.826.420,80	\$ 1.501.652.841,60

Escenario	Definición
EST. DEO. ACT	Estocástico Distancias Euclidianas Optimas Actuales
EST. MRO. ACT	Estocástico Distancias Reales Optimizadas Actuales
EST. TRO. ACT	Estocástico Tiempos Reales Optimizados Actuales
EST. NO. ACT	Estocástico No Optimizado Actual
EST. DEO. MD	Estocástico Distancias Euclidianas Optimizadas Mínima Distancia
EST. MRO. MD	Estocástico Distancias Reales Optimizadas Mínima Distancia
EST. TRO. MD	Estocástico Tiempos Reales Optimizados Mínima Distancia
EST. NO. MD	Estocástico No Optimizado Mínima Distancia

**Tabla 23. Proyección de costos 10% de variabilidad en los tiempos de rutas**

PROYECCIÓN DE COSTOS 10% DE VARIABILIDAD EN LOS TIEMPOS DE RUTAS						
TIEMPO	1 REPARTO	SEMANA	MES	TRIMESTRE	SEMESTRE	AÑO
EST. DEO. ACT	\$ 16.059.692,40	\$ 32.119.384,80	\$ 128.477.539,20	\$ 385.432.617,60	\$ 770.865.235,20	\$ 1.541.730.470,40
EST. MRO. ACT	\$ 11.757.727,80	\$ 23.515.455,60	\$ 94.061.822,40	\$ 282.185.467,20	\$ 564.370.934,40	\$ 1.128.741.868,80
EST. TRO. ACT	\$ 12.030.544,80	\$ 24.061.089,60	\$ 96.244.358,40	\$ 288.733.075,20	\$ 577.466.150,40	\$ 1.154.932.300,80
EST. NO. ACT	\$ 15.680.608,00	\$ 31.361.216,00	\$ 125.444.864,00	\$ 376.334.592,00	\$ 752.669.184,00	\$ 1.505.338.368,00
EST. DEO. MD	\$ 15.206.473,50	\$ 30.412.947,00	\$ 121.651.788,00	\$ 364.955.364,00	\$ 729.910.728,00	\$ 1.459.821.456,00
EST. MRO. MD	\$ 11.643.124,10	\$ 23.286.248,20	\$ 93.144.992,80	\$ 279.434.978,40	\$ 558.869.956,80	\$ 1.117.739.913,60
EST. TRO. MD	\$ 11.473.496,50	\$ 22.946.993,00	\$ 91.787.972,00	\$ 275.363.916,00	\$ 550.727.832,00	\$ 1.101.455.664,00
EST. NO. MD	\$ 15.680.608,00	\$ 31.361.216,00	\$ 125.444.864,00	\$ 376.334.592,00	\$ 752.669.184,00	\$ 1.505.338.368,00

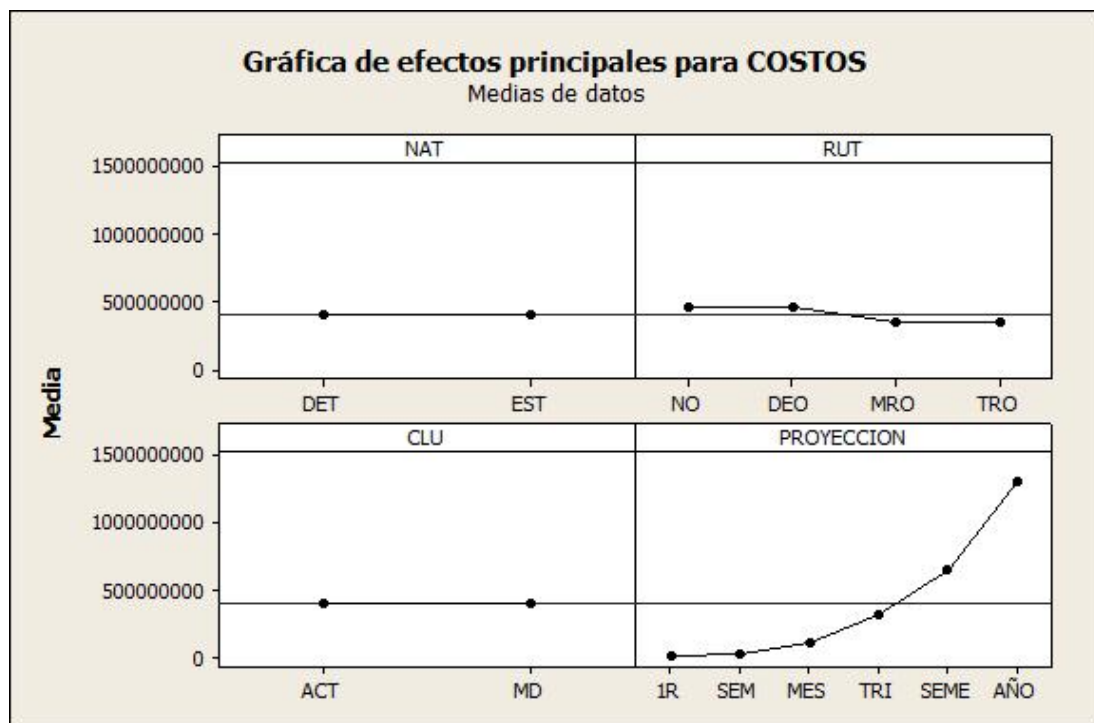
Escenario	Definición
EST. DEO. ACT	Estocástico Distancias Euclidianas Optimas Actuales
EST. MRO. ACT	Estocástico Distancias Reales Optimizadas Actuales
EST. TRO. ACT	Estocástico Tiempos Reales Optimizados Actuales
EST. NO. ACT	Estocástico No Optimizado Actual
EST. DEO. MD	Estocástico Distancias Euclidianas Optimizadas Mínima Distancia
EST. MRO. MD	Estocástico Distancias Reales Optimizadas Mínima Distancia
EST. TRO. MD	Estocástico Tiempos Reales Optimizados Mínima Distancia
EST. NO. MD	Estocástico No Optimizado Mínima Distancia

**Tabla 24. Proyección de costos 15% de variabilidad en los tiempos de rutas**

PROYECCIÓN DE COSTOS 15% DE VARIABILIDAD EN LOS TIEMPOS DE RUTAS						
TIEMPO	1 REPARTO	SEMANA	MES	TRIMESTRE	SEMESTRE	AÑO
EST. DEO. ACT	\$ 15.906.375,10	31812750,2	\$ 127.251.000,80	381753002,4	\$ 763.506.004,80	1527012010
EST. MRO. ACT	\$ 11.788.477,80	23576955,6	\$ 94.307.822,40	282923467,2	\$ 565.846.934,40	1131693869
EST. TRO. ACT	\$ 10.837.953,30	21675906,6	\$ 86.703.626,40	260110879,2	\$ 520.221.758,40	1040443517
EST. NO. ACT	\$ 15.595.416,70	31190833,4	\$ 124.763.333,60	374290000,8	\$ 748.580.001,60	1497160003
EST. DEO. MD	\$ 15.110.065,30	30220130,6	\$ 120.880.522,40	362641567,2	\$ 725.283.134,40	1450566269
EST. MRO. MD	\$ 11.659.144,10	23318288,2	\$ 93.273.152,80	279819458,4	\$ 559.638.916,80	1119277834
EST. TRO. MD	\$ 11.429.385,20	22858770,4	\$ 91.435.081,60	274305244,8	\$ 548.610.489,60	1097220979
EST. NO. MD	\$ 15.595.416,70	31190833,4	\$ 124.763.333,60	\$ 374.290.000,80	\$ 748.580.001,60	\$ 1.497.160.003,20

Escenario	Definición
EST. DEO. ACT	Estocástico Distancias Euclidianas Optimas Actuales
EST. MRO. ACT	Estocástico Distancias Reales Optimizadas Actuales
EST. TRO. ACT	Estocástico Tiempos Reales Optimizados Actuales
EST. NO. ACT	Estocástico No Optimizado Actual
EST. DEO. MD	Estocástico Distancias Euclidianas Optimizadas Mínima Distancia
EST. MRO. MD	Estocástico Distancias Reales Optimizadas Mínima Distancia
EST. TRO. MD	Estocástico Tiempos Reales Optimizados Mínima Distancia
EST. NO. MD	Estocástico No Optimizado Mínima Distancia

**Figura 23. Gráfica de efectos principales para costo**



Factores de Diseño	Niveles de Factor			
<b>NAT: Naturaleza del Problema</b>	DET: Determinístico		EST: Estocástico	
<b>RUT: Rutas de Optimización</b>	NO: No Optimizado	DEO: Distancias Euclidianas Optimizadas	MRO: Distancias Reales Optimizadas	TRO: Tiempos Reales Optimizados
<b>CLU: Clusterización</b>	ACT: Actual		MD: Mínima Distancia	

<b>Proyección</b>	1R: Primer Reparto	SEM: Semanal	MES: Mensual	TRI: Trimestral	SEME: Semestral	AÑO: Anual
-------------------	--------------------	--------------	--------------	-----------------	-----------------	------------

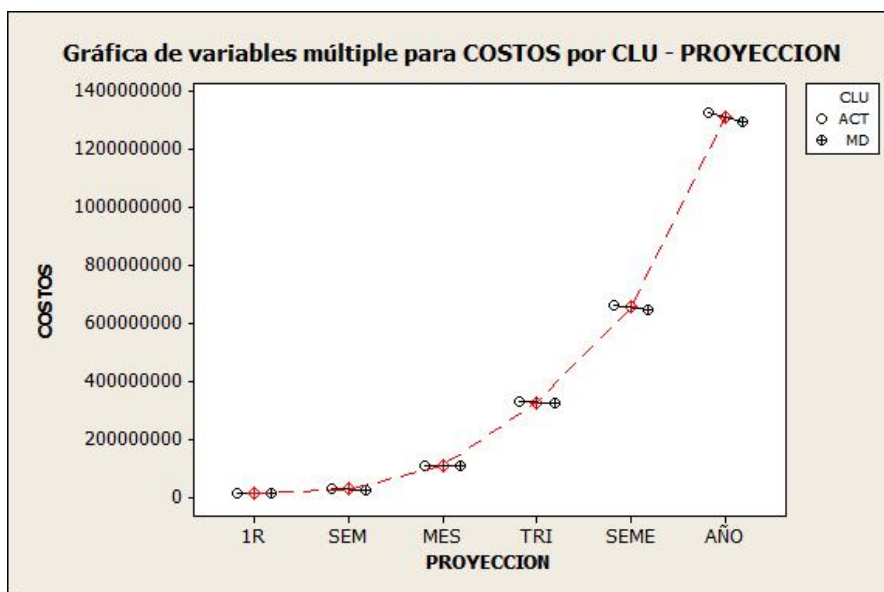
La gráfica muestra una representación de la proyección del costo operacional, de cada una de las rutas de optimización con respecto al escenario actual que se implementa para ejecutar las operaciones de reparto de agua potable. Dando a conocer de esta forma de esta forma el ahorro que se obtendría con los diferentes escenarios de optimización. Como se representa en la Tabla 25.

**Tabla 25. Relación porcentual de Ahorro de Instancias de optimización frente a la instancia actual**

Instancia	Porcentaje de Ahorro con Respecto a la Instancia Actual No Optimizada	Ahorro Con Respecto a la Instancia Actual No Optimizada (\$)
DET. NO. ACT	0%	\$ 0,00
DET. DEO. ACT	-1%	Sobrecosto de \$ 124.000,00
DET. MRO. ACT	24%	\$ 3.834.000,00
DET. TRO. ACT	23%	\$ 3.609.000,00
DET. DEO. MD	3%	\$ 502.000,00
DET. MRO. MD	26%	\$ 4.011.000,00
DET. TRO. MD	27%	\$ 4.187.000,00

Istancia	Definición
DET. NO. ACT	Determinístico No Optimizado Actual.
DET. DEO. ACT	Determinístico Distancias Euclidianas Optimas Actuales.
DET. MRO. ACT	Determinístico Distancias Reales Optimizadas Actuales.
DET. TRO. ACT	Determinístico Tiempos Reales Optimizados Actuales.
DET. DEO. MD	Determinístico Distancias Euclidianas Optimizadas Mínima Distancia.
DET. MRO. MD	Determinístico Distancias Reales Optimizadas Mínima Distancia.
DET. TRO. MD	Determinístico Tiempos Reales Optimizados Mínima Distancia.

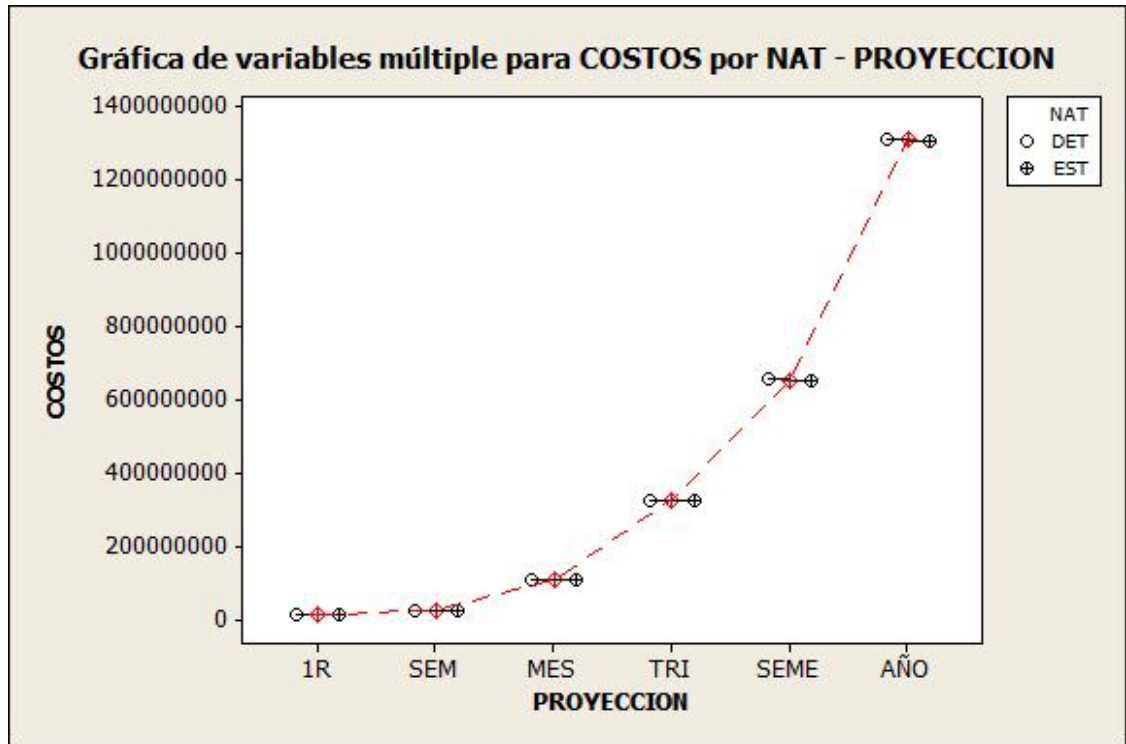
**Figura 24. Gráfica de variables múltiple para COSTOS por CLU - PROYECCION**



Factores de Diseño	Niveles de Factor	
CLU: Clusterización	ACT: Actual	MD: Mínima Distancia

Proyección	1R: Primer Reparto	SEM: Semanal	MES: Mensual	TRI: Trimestral	SEME: Semestral	AÑO: Anual
------------	--------------------	--------------	--------------	-----------------	-----------------	------------

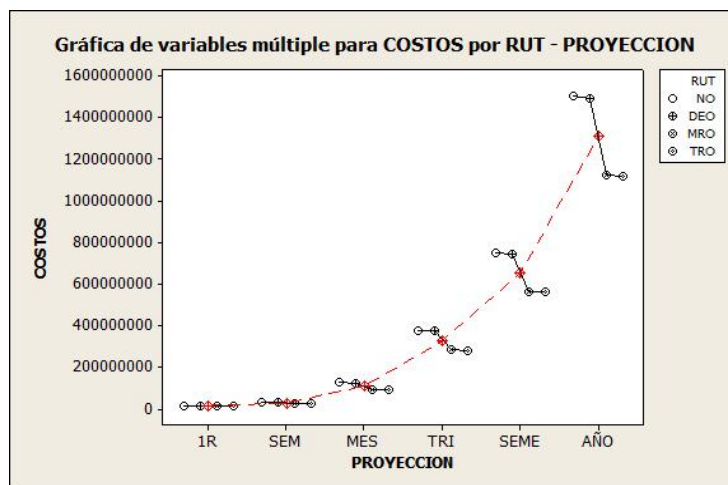
**Figura 25. Gráfica de variables múltiple para COSTOS por NAT - PROYECCION**



Factores de Diseño	Niveles de Factor					
NAT: Naturaleza del Problema	DET: Determinístico			EST: Estocástico		
Proyección	1R: Primer Reparto	SEM: Semanal	MES: Mensual	TRI: Trimestral	SEME: Semestral	AÑO: Anual

La gráfica ilustra el comportamiento de los costos en cada ruta de optimización haciendo representación en cada una de las instancias de tiempo proyectada. Dando a conocer el comportamiento de los costos rutas de optimización MRO Y TRO con relación a la instancia actual NO.

**Figura 26. Gráfica de variables para COSTOS por RUT – PROYECCION**



Factores de Diseño	Niveles de Factor			
RUT: Rutas de Optimización	NO: No Optimizado	DEO: Distancias Euclidianas Optimizadas	MRO: Distancias Reales Optimizadas	TRO: Tiempos Reales Optimizados

Proyección	1R: Primer Reparto	SEM: Semanal	MES: Mensual	TRI: Trimestral	SEME: Semestral	AÑO: Anual
------------	--------------------	--------------	--------------	-----------------	-----------------	------------

La Figura 26 ilustra el comportamiento de los costos en cada ruta de optimización y a su vez determina el gran impacto de costo operacional que tiene cada una de las rutas planteadas con relación a la instancia en la cual se está trabajando en la actualidad como el ahorro proyectado con los diferentes escenarios planteados vs el escenario No Optimizado (NO) en cada uno de los intervalos de tiempo proyectados.

**Tabla 26. Ahorro proyectado de Rutas de Optimización vs escenario actual.**

PROYECCIÓN DE AHORRO CON RESPECTO A TIEMPO DE OPERACIONES						
Instancia	1 REPARTO	SEMANA	MES	TRIMESTRE	SEMESTRE	AÑO
DET. DEO. ACT	\$ (124.000,00)	\$ (248.000,00)	\$ (992.000,00)	\$ (2.976.000,00)	\$ (5.952.000,00)	\$ (11.904.000,00)
DET. MRO. ACT	\$ 3.834.000,00	\$ 7.668.000,00	\$ 30.672.000,00	\$ 92.016.000,00	\$ 184.032.000,00	\$ 368.064.000,00
DET. TRO. ACT	\$ 3.609.000,00	\$ 7.218.000,00	\$ 28.872.000,00	\$ 86.616.000,00	\$ 173.232.000,00	\$ 346.464.000,00
DET. DEO. MD	\$ 502.000,00	\$ 1.004.000,00	\$ 4.016.000,00	\$ 12.048.000,00	\$ 24.096.000,00	\$ 48.192.000,00
DET. MRO. MD	\$ 4.011.000,00	\$ 8.022.000,00	\$ 32.088.000,00	\$ 96.264.000,00	\$ 192.528.000,00	\$ 385.056.000,00
DET. TRO. MD	\$ 4.187.000,00	\$ 8.374.000,00	\$ 33.496.000,00	\$ 100.488.000,00	\$ 200.976.000,00	\$ 401.952.000,00

## 9. CONCLUSIONES

Partiendo de los resultados obtenidos en la modelación del SMDVRP y en el diseño de experimentos aplicado a los resultados obtenidos de a partir de este, se observa que los escenarios de Distancia Reales Optimizadas con Mínima Distancia (DRO. MD) y de Tiempos Reales Optimizado con Mínima Distancia (TRO. MD), ofrecen el mejor desempeño operacional con relación a las variables de costo y tiempo, en comparación con el escenario actual del problema.

Realizando el análisis comparativo entre la naturaleza determinista y la naturaleza estocástica del problema en estudio, se infiere que la modelación de forma determinista siempre tiende a presentar mejores resultados en el desempeño operacional del modelo, sin embargo a pesar de esto, la estocasticidad aplicada al problema en el modelo de simulación presenta resultados operacionales mucho más aproximados a los contextos de la vida diaria, ya que en contextos reales no se tiene la certeza total del comportamiento exacto que presentan de las variables que intervienen en un problema de ruteo de vehículos.

De acuerdo con los métodos de optimización de rutas aplicados al modelo de simulación se observa que se pueden obtener ahorros significativos sobre los costos para cada instancia comparada con la política actual de distribución de agua que utiliza la empresa. Para la instancia Determinística Distancias Euclidianas Optimizadas Mínima Distancia (DET.DEO.MD) se obtiene un ahorro del 2%, para la instancia Determinística Distancias Reales Optimizadas Mínima Distancia (DET.MRO.MD) se obtiene un ahorro del 26%, para la instancia Determinística Tiempos Reales Optimizadas Mínima Distancia (DET.TRO.MD) se obtiene un ahorro del 27% en los costos. Lo que indica que a la hora de tomar decisiones la empresa debe considerar el escenario que mejor desempeño le ofrece a nivel operacional.



## Bibliografía

(s.f.).

- Barcos, L., Rodriguez M., V., Álvarez, M. J., & Robusté, F. (2002). Algoritmo basado en la optimización mediante colonias de hormigas para resolución del problema del transporte de carga desde varios orígenes a varios destinos. *V Congreso de Ingeniería del Transporte*.
- Bertsimas, D. (1992). A Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand. *Institute for Operation Research and the Management Sciences*.
- Biing Sheu, J. (2006). A hybrid fuzzy-optimization approach to customer grouping-based logistics distribution operations. *Applied Mathematical Modelling*.
- Chan, Y., Carter, W., & Burnes, M. (2001). A multiple-depot, multiple-vehicle, location-routing problem with stochastically processed demands. *Computers & Operations Research*.
- Christiansen, C., & Lysgaard, J. (2007). A branch-and-price algorithm for the capacitated vehicle routing problem with stochastic demands. *Operations Research Letters*.
- Cordeau, J. F., Laporte, G., Savelsbergh, M., & Vigo, D. (2007). Vehicle Routing. *Elsevier B.V.*, 410-412.
- Daza, J. M., Montoya, J. R., & Narducci, F. (2009). RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE ENRUTAMIENTO DE VEHÍCULOS CON LIMITACIONES DE CAPACIDAD UTILIZANDO UN PROCEDIMIENTO METAHEURÍSTICO DE DOS FASES. *EIA*.
- Erbao, C., & Mingyong, L. (2009). A hybrid differential evolution algorithm to vehicle routing problem with fuzzy demands. *Journal of Computational and Applied Mathematics*.
- Farhang Moghaddam, B., Ruiz, R., & Jafar Sadjadi, S. (2011). Vehicle routing problem with uncertain demands: An advanced particle swarm algorithm. *Computers & Industrial Engineering*.
- François Cordeau, J., Laporte, G., W.P. Savelsbergh, M., & Vigo, D. (2007). Vehicle Routing. *Elsevier B.V.*, 410-417.

- Gendreau, M., Laporte, G., & René, S. (1995). A TABU SEARCH HEURISTIC FOR THE VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH STOCHASTIC DEMANDS AND CUSTOMERS. *INFORMS*.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Séguin, R. (1996). Stochastic vehicle routing. *European Journal of Operational Research* 88, 3-12.
- Géraldine, H., Cordeau, J.-F., & Laporte, G. (2011). An integer L-shaped algorithm for the Dial-a-Ride Problem with stochastic customer delays. *Discrete Applied Mathematics*.
- González Vargas , G., & Gonzáles Aristizábal, F. (2006). Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. Un caso estudio. Parte 1: formulación del problema. *redalyc*.
- Goodson, J., Ohlmann, J., & Thomas, B. (2011). Cyclic-order neighborhoods with application to the vehicle routing problem with stochastic demand. *European Journal of Operational Research*.
- Google. (2014). *Google Earth*. Recuperado el 29 de 03 de 2014, de Google Earth: <http://www.google.com/gadgets/directory?pid=earth&synd=earth&hl=es&gl=co>
- Haughton , M. (1998). THE PERFORMANCE OF RUTE MODIFICATION AND DEMAND STABILIZATION STRATEGIES IN STOCHASTIC VEHICLE ROUTING. *Transportation Research* .
- Haughton , M., & Stenger, A. (1999). Comparing strategies for addressing delivery shortages in stochastic demand setting. *Elsevier Science Ltd*.
- Haugland, D., Ho, S., & Laporte, G. (2006). Designing delivery districts for the vehicle routing problem with stochastic demands. *European Journal of Operational Research*.
- Juan, A., Faulin, J., Grasman, S., Riera, D., Marull, J., & Mendez, C. (2010). Using safety stocks and simulation to solve the vehicle routing problem with stochastic demands. *Transportation Research*.
- Laporte, G., louveaux, F., & Mercure , H. (1992). The Vehicle Routing Problem with Stochastic Travel Times. *Transportation Science*.
- LAPORTE, G., LOUVEAUX, F., & MERCURE, H. (1992). The Vehicle Routing Problem with Stochastic Travel Times. *Transportation Science*.

- López Franco, J., & Nieto Izasa, S. (2012). Heurística para la Generación de un Conjunto de Referencia de Soluciones que Resuelvan el Problema de Ruteo de Vehículos con Múltiples Depósitos MDVRP. *Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*.
- Marinakis, Y., Iordanidou, G.-R., & Marinaki, M. (2013). Particle Swarm Optimization for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands. *Applied Soft Computing*.
- Novoa, C., & Storer, R. (2008). An approximate dynamic programming approach for the vehicle routing problem with stochastic demands. *European Journal of Operational Research*.
- Olivera, A. (2004). Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos.
- Pandelis, D., Kyriakidis, E., & Dimitrakos, T. (2011). Single vehicle routing problems with a predefined customer sequence, compartmentalized load and stochastic demands. *European Journal of Operational Research*.
- Rocha, L., Gonzáles, C., & Orjuela, J. (2011). Una revisión del estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución.
- Secomandi, N. (2000). Comparing neuro-dynamic programming algorithms for the vehicle routing problem with stochastic demands. *Computers & Operations Research*.
- Taş, D., Gendreau, M., Dellaert, N., van Woensel, T., & de Kok, A. (2013). Vehicle Routing with Soft Time Windows and Stochastic Travel Times: A Column Generation and Branch-and-Price Solution Approach. *European Journal of Operational Research*.
- Tatarakis, A., & Minis, I. (2008). Stochastic single vehicle routing with a predefined customer sequence and multiple depot returns. *European Journal of Operational Research*.
- Van Woensel, T., Kerbache, L., Peremans, H., & Vandaele, N. (2001). A VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH STOCHASTIC TRAVEL TIMES.
- Xiangyong Li, a., Peng Tian, a., & Stephen C.H Leung, b. (2010). Vehicle routing problems with the windows and stochastic travel and service times: Models and Algorithm. *ELSEVIER*.

Yan, S., Chi, C.-J., & Tang, C.-H. (2005). Inter-city bus routing and timetable setting under stochastic demands. *Transportation Research*.

Yan, S., Lin, J.-R., & Lai, C.-W. (2013). The planning and real-time adjustment of courier routing and scheduling under stochastic travel times and demands. *Transportation Research*.

# **ANEXOS**

## Anexo 1: Rutas DET. DEO. ACT

Vehi culo	Depos ito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	Depos ito1	cliente _9	cliente _67	cliente _63	cliente _115	cliente _2	cliente _79	cliente _61	cliente _49	cliente _16
2	Depos ito1	cliente _75	cliente _41	cliente _45	cliente _77	cliente _20	cliente _58	cliente _17	cliente _50	cliente _19
3	Depos ito1	cliente _46	cliente _1	cliente _112	cliente _55	cliente _81	cliente _73	cliente _111	cliente _44	cliente _22
4	Depos ito1	cliente _13	cliente _11	cliente _72	cliente _36	cliente _74	cliente _4	cliente _51	cliente _70	cliente _23
5	Depos ito1	cliente _43	cliente _80	cliente _54	cliente _39	cliente _48	cliente _18	cliente _71	cliente _5	cliente _35
6	Depos ito1	cliente _114	cliente _10	cliente _78	cliente _8	cliente _37	cliente _59	cliente _113	cliente _60	cliente _53
7	Depos ito1	cliente _14	cliente _34	cliente _65	cliente _110	cliente _47	cliente _6	cliente _68	cliente _38	cliente _62
8	Depos ito1	cliente _56	cliente _12	cliente _24	cliente _52	cliente _15	cliente _42	cliente _21	cliente _76	cliente _32
9	Depos ito1	cliente _69	cliente _40	cliente _64	cliente _57	cliente _31	cliente _33	cliente _3	cliente _7	
10	Depos ito2	cliente _95	cliente _156	cliente _135	cliente _122	cliente _200	cliente _84	cliente _104	cliente _93	cliente _121
11	Depos ito2	cliente _154	cliente _108	cliente _131	cliente _155	cliente _171	cliente _106	cliente _129	cliente _130	cliente _105
12	Depos ito2	cliente _174	cliente _173	cliente _139	cliente _170	cliente _94	cliente _116	cliente _162	cliente _172	cliente _164
13	Depos ito2	cliente _126	cliente _175	cliente _118	cliente _123	cliente _125	cliente _66	cliente _26	cliente _30	cliente _117
14	Depos ito2	cliente _27	cliente _29	cliente _85	cliente _25	cliente _109	cliente _128	cliente _140	cliente _146	cliente _119
15	Depos ito2	cliente _137	cliente _148	cliente _136	cliente _133	cliente _127	cliente _103	cliente _138	cliente _134	cliente _124
16	Depos ito2	cliente _163	cliente _147	cliente _199	cliente _197	cliente _83	cliente _92	cliente _107	cliente _102	cliente _86
17	Depos ito2	cliente _198	cliente _96	cliente _28	cliente _120	cliente _132	cliente _82	cliente _196		
18	Depos ito3	cliente _149	cliente _177	cliente _159	cliente _181	cliente _160	cliente _151	cliente _176	cliente _168	cliente _144
19	Depos ito3	cliente _194	cliente _98	cliente _187	cliente _158	cliente _153	cliente _88	cliente _184	cliente _152	cliente _178
20	Depos ito3	cliente _91	cliente _99	cliente _145	cliente _186	cliente _185	cliente _182	cliente _195	cliente _190	cliente _183
21	Depos ito3	cliente _179	cliente _169	cliente _90	cliente _157	cliente _161	cliente _89	cliente _87	cliente _141	cliente _150
22	Depos ito3	cliente _101	cliente _97	cliente _166	cliente _188	cliente _191	cliente _100	cliente _143	cliente _165	cliente _192
23	Depos ito3	cliente _189	cliente _180	cliente _142	cliente _193	cliente _167				

## Anexo 2: Tiempos de Ruta DET. DEO. ACT

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	30	88	84	84	72	74	88	82	72	92
2	32	88	58	90	86	76	90	74	74	32
3	42	24	46	82	80	78	88	72	42	50
4	60	24	72	76	76	82	86	88	82	98
5	24	72	70	72	90	82	80	86	70	68
6	90	80	84	74	72	72	70	74	88	86
7	36	90	84	78	82	80	86	74	72	88
8	38	78	74	76	78	72	70	84	76	66
9	84	80	84	70	80	42	80	30	94	
10	60	84	78	74	30	84	78	70	76	54
11	54	90	70	90	86	86	72	74	82	70
12	44	70	78	84	70	86	70	74	84	82
13	40	76	72	78	74	76	88	36	74	52
14	84	28	74	86	90	88	86	76	82	76
15	48	88	70	74	86	90	76	90	82	70
16	82	90	78	84	84	70	76	80	84	42
17	64	48	86	84	74	88	32	78		
18	64	72	86	84	90	76	78	78	70	68
19	28	34	80	86	78	76	52	70	90	34
20	30	78	84	86	70	80	72	76	90	20
21	52	82	80	70	90	82	86	84	86	50
22	36	90	72	82	70	32	72	86	88	40
23	26	74	82	22	74	32				

### Anexo 3: Rutas DET. MRO. ACT

Vehi culo	Depos ito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	Depos ito1	cliente _2	cliente _5	cliente _9	cliente _7	cliente _16	cliente _10	cliente _18	cliente _17	cliente _19
2	Depos ito1	cliente _41	cliente _20	cliente _48	cliente _42	cliente _43	cliente _46	cliente _38	cliente _44	cliente _23
3	Depos ito1	cliente _21	cliente _40	cliente _49	cliente _47	cliente _33	cliente _34	cliente _79	cliente _1	cliente _45
4	Depos ito1	cliente _55	cliente _111	cliente _50	cliente _76	cliente _22	cliente _37	cliente _39	cliente _32	cliente _36
5	Depos ito1	cliente _14	cliente _13	cliente _8	cliente _11	cliente _4	cliente _12	cliente _15	cliente _3	cliente _6
6	Depos ito1	cliente _75	cliente _113	cliente _59	cliente _51	cliente _69	cliente _80	cliente _67	cliente _53	cliente _57
7	Depos ito1	cliente _77	cliente _112	cliente _65	cliente _60	cliente _73	cliente _58	cliente _63	cliente _62	cliente _78
8	Depos ito1	cliente _68	cliente _64	cliente _56	cliente _61	cliente _110	cliente _31	cliente _24	cliente _35	cliente _72
9	Depos ito1	cliente _81	cliente _74	cliente _54	cliente _52	cliente _114	cliente _71	cliente _70	cliente _115	
10	Depos ito2	cliente _126	cliente _196	cliente _140	cliente _197	cliente _131	cliente _198	cliente _138	cliente _199	cliente _139
11	Depos ito2	cliente _134	cliente _133	cliente _92	cliente _200	cliente _120	cliente _162	cliente _107	cliente _129	cliente _122
12	Depos ito2	cliente _137	cliente _154	cliente _29	cliente _27	cliente _28	cliente _26	cliente _30	cliente _172	cliente _86
13	Depos ito2	cliente _174	cliente _175	cliente _95	cliente _94	cliente _148	cliente _25	cliente _83	cliente _125	cliente _127
14	Depos ito2	cliente _118	cliente _102	cliente _104	cliente _82	cliente _128	cliente _146	cliente _130	cliente _84	cliente _155
15	Depos ito2	cliente _116	cliente _108	cliente _147	cliente _171	cliente _173	cliente _105	cliente _96	cliente _123	cliente _119
16	Depos ito2	cliente _135	cliente _124	cliente _156	cliente _66	cliente _93	cliente _121	cliente _106	cliente _136	cliente _85
17	Depos ito2	cliente _109	cliente _103	cliente _117	cliente _170	cliente _132	cliente _164	cliente _163		
18	Depos ito3	cliente _183	cliente _90	cliente _193	cliente _142	cliente _190	cliente _91	cliente _186	cliente _99	cliente _182
19	Depos ito3	cliente _160	cliente _184	cliente _141	cliente _181	cliente _87	cliente _195	cliente _97	cliente _98	cliente _194
20	Depos ito3	cliente _189	cliente _88	cliente _191	cliente _100	cliente _185	cliente _89	cliente _187	cliente _101	cliente _188
21	Depos ito3	cliente _177	cliente _144	cliente _168	cliente _159	cliente _157	cliente _151	cliente _192	cliente _143	cliente _149
22	Depos ito3	cliente _176	cliente _145	cliente _179	cliente _150	cliente _165	cliente _153	cliente _167	cliente _178	cliente _161
23	Depos ito3	cliente _169	cliente _158	cliente _166	cliente _180	cliente _152				



#### Anexo 4: Tiempos de Ruta DET. MRO. ACT

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	20	20	20	26	20	26	22	26	48	32
2	24	26	20	24	22	20	22	20	22	98
3	26	20	20	24	22	20	78	44	20	34
4	30	70	70	70	70	30	24	24	44	62
5	36	24	20	22	40	46	54	42	64	68
6	32	72	70	70	70	70	70	70	70	66
7	38	70	72	70	70	72	70	72	76	44
8	42	72	72	74	70	74	62	20	72	92
9	40	76	74	72	70	70	76	78	50	
10	40	38	22	48	20	22	22	24	20	82
11	42	74	84	40	20	70	70	70	70	46
12	48	70	72	28	40	20	36	70	70	42
13	44	70	70	76	72	70	72	72	74	60
14	46	72	70	72	74	70	82	72	70	56
15	82	70	72	70	70	70	70	70	80	76
16	42	72	72	70	72	76	72	70	70	58
17	54	70	74	70	74	84	90	82		
18	20	24	20	22	20	36	34	22	26	20
19	22	70	20	32	28	22	48	88	34	28
20	26	22	40	32	28	44	24	40	36	64
21	22	72	70	70	70	72	70	44	70	64
22	26	70	70	70	76	70	72	80	76	30
23	34	72	90	72	76	66				

## Anexo 5: Rutas DET. TRO. ACT

Vehi culo	Depos ito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	Depos ito1	cliente _2	cliente _5	cliente _1	cliente _45	cliente _40	cliente _21	cliente _19	cliente _114	cliente _38
2	Depos ito1	cliente _56	cliente _23	cliente _44	cliente _42	cliente _43	cliente _46	cliente _20	cliente _48	cliente _41
3	Depos ito1	cliente _9	cliente _7	cliente _16	cliente _10	cliente _18	cliente _17	cliente _12	cliente _14	cliente _13
4	Depos ito1	cliente _111	cliente _50	cliente _67	cliente _55	cliente _64	cliente _75	cliente _36	cliente _39	cliente _32
5	Depos ito1	cliente _59	cliente _8	cliente _11	cliente _4	cliente _15	cliente _79	cliente _33	cliente _37	cliente _47
6	Depos ito1	cliente _58	cliente _63	cliente _31	cliente _34	cliente _24	cliente _35	cliente _49	cliente _22	cliente _76
7	Depos ito1	cliente _113	cliente _72	cliente _77	cliente _78	cliente _6	cliente _3	cliente _81	cliente _80	cliente _54
8	Depos ito1	cliente _73	cliente _60	cliente _65	cliente _112	cliente _69	cliente _61	cliente _110	cliente _51	cliente _68
9	Depos ito1	cliente _70	cliente _53	cliente _62	cliente _115	cliente _74	cliente _57	cliente _52	cliente _71	
10	Depos ito2	cliente _172	cliente _198	cliente _106	cliente _199	cliente _139	cliente _196	cliente _121	cliente _197	cliente _92
11	Depos ito2	cliente _120	cliente _155	cliente _127	cliente _200	cliente _129	cliente _108	cliente _82	cliente _104	cliente _156
12	Depos ito2	cliente _29	cliente _27	cliente _28	cliente _26	cliente _30	cliente _94	cliente _25	cliente _138	cliente _103
13	Depos ito2	cliente _126	cliente _125	cliente _83	cliente _174	cliente _118	cliente _86	cliente _148	cliente _154	cliente _137
14	Depos ito2	cliente _134	cliente _173	cliente _135	cliente _95	cliente _175	cliente _132	cliente _85	cliente _136	cliente _171
15	Depos ito2	cliente _128	cliente _93	cliente _133	cliente _131	cliente _109	cliente _170	cliente _117	cliente _119	cliente _66
16	Depos ito2	cliente _122	cliente _146	cliente _107	cliente _140	cliente _102	cliente _124	cliente _162	cliente _123	cliente _96
17	Depos ito2	cliente _84	cliente _130	cliente _163	cliente _105	cliente _164	cliente _116	cliente _147		
18	Depos ito3	cliente _182	cliente _88	cliente _183	cliente _90	cliente _193	cliente _142	cliente _190	cliente _87	cliente _181
19	Depos ito3	cliente _177	cliente _100	cliente _189	cliente _89	cliente _184	cliente _141	cliente _186	cliente _99	cliente _178
20	Depos ito3	cliente _166	cliente _97	cliente _192	cliente _143	cliente _188	cliente _98	cliente _194	cliente _101	cliente _187
21	Depos ito3	cliente _160	cliente _149	cliente _195	cliente _167	cliente _151	cliente _159	cliente _191	cliente _168	cliente _144
22	Depos ito3	cliente _176	cliente _180	cliente _185	cliente _91	cliente _161	cliente _152	cliente _165	cliente _179	cliente _145
23	Depos ito3	cliente _169	cliente _158	cliente _157	cliente _153	cliente _150				

### Anexo 6: Tiempos de Ruta DET. TRO. ACT

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	20	20	20	20	24	20	22	20	70	82
2	38	70	22	22	22	20	20	20	22	24
3	30	26	20	26	22	26	46	32	24	60
4	32	70	70	70	70	70	72	34	24	66
5	34	70	22	40	50	90	72	22	26	86
6	34	70	70	34	22	20	56	38	70	88
7	34	72	70	72	70	64	70	72	70	100
8	40	70	70	72	72	70	70	74	74	42
9	44	70	70	76	80	70	76	80	96	
10	44	70	46	22	20	22	20	30	20	70
11	44	88	70	44	20	82	70	72	70	39
12	40	28	40	20	36	72	70	72	76	78
13	40	70	72	70	72	70	72	72	70	48
14	42	70	70	70	70	70	70	70	72	86
15	50	70	70	72	70	82	70	70	72	64
16	46	74	70	70	72	74	74	70	70	58
17	54	72	76	72	74	72	78	90		
18	20	30	22	24	20	22	20	42	28	22
19	22	70	24	26	22	20	24	22	78	34
20	50	72	48	44	38	32	34	22	40	64
21	22	70	70	72	70	70	70	70	70	68
22	26	78	74	70	72	72	78	74	70	58
23	34	72	70	84	88	50				

## Anexo 7: Rutas DET. NO. ACT

Vehi culo	Depo sito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	Depo sito1	client e_1	cliente _2	cliente _3	cliente _31	cliente _32	cliente _33	cliente _34	cliente _35	cliente _36	cliente _37
2	Depo sito1	client e_4	cliente _5	cliente _6	cliente _7	cliente _38	cliente _39	cliente _40	cliente _54	cliente _55	cliente _56
3	Depo sito1	client e_8	cliente _9	cliente _41	cliente _42	cliente _43	cliente _44	cliente _45	cliente _57	cliente _58	cliente _59
4	Depo sito1	client e_10	cliente _11	cliente _12	cliente _13	cliente _60	cliente _61	cliente _62	cliente _63	cliente _64	cliente _65
5	Depo sito1	client e_14	cliente _15	cliente _46	cliente _47	cliente _48	cliente _49	cliente _50	cliente _51	cliente _52	cliente _53
6	Depo sito1	client e_16	cliente _17	cliente _18	cliente _67	cliente _76	cliente _77	cliente _78	cliente _79	cliente _80	cliente _81
7	Depo sito1	client e_19	cliente _20	cliente _68	cliente _69	cliente _70	cliente _71	cliente _72	cliente _73	cliente _74	cliente _75
8	Depo sito1	client e_21	cliente _22	cliente _23	cliente _24	cliente _110	cliente _111	cliente _112	cliente _113	cliente _114	cliente _115
9	Depo sito2	client e_25	cliente _26	cliente _27	cliente _116	cliente _117	cliente _118	cliente _119	cliente _120	cliente _121	cliente _122
10	Depo sito2	client e_28	cliente _29	cliente _30	cliente _123	cliente _124	cliente _125	cliente _126	cliente _127	cliente _128	cliente _129
11	Depo sito2	client e_82	cliente _92	cliente _102	cliente _103	cliente _104	cliente _105	cliente _106	cliente _107	cliente _108	cliente _109
12	Depo sito2	client e_83	cliente _93	cliente _130	cliente _131	cliente _132	cliente _133	cliente _134	cliente _135	cliente _136	cliente _137
13	Depo sito2	client e_84	cliente _94	cliente _138	cliente _146	cliente _154	cliente _162	cliente _170	cliente _171	cliente _172	cliente _173
14	Depo sito2	client e_85	cliente _95	cliente _139	cliente _147	cliente _155	cliente _163	cliente _174	cliente _199	cliente _200	cliente _66
15	Depo sito2	client e_86	cliente _96	cliente _140	cliente _148	cliente _156	cliente _164	cliente _175	cliente _196	cliente _197	cliente _198
16	Depo sito3	client e_87	cliente _97	cliente _141	cliente _149	cliente _157	cliente _165	cliente _176	cliente _193	cliente _194	cliente _195
17	Depo sito3	client e_88	cliente _98	cliente _142	cliente _150	cliente _158	cliente _166	cliente _177	cliente _190	cliente _191	cliente _192
18	Depo sito3	client e_89	cliente _99	cliente _143	cliente _151	cliente _159	cliente _167	cliente _178	cliente _187	cliente _188	cliente _189
19	Depo sito3	client e_90	cliente _100	cliente _144	cliente _152	cliente _160	cliente _168	cliente _179	cliente _184	cliente _185	cliente _186
20	Depo sito3	client e_91	cliente _101	cliente _145	cliente _153	cliente _161	cliente _169	cliente _180	cliente _181	cliente _182	cliente _183
21	Depo sito1	client e_1	cliente _2	cliente _3	cliente _31	cliente _32	cliente _33	cliente _34	cliente _35	cliente _36	cliente _37
22	Depo sito1	client e_4	cliente _5	cliente _6	cliente _7	cliente _38	cliente _39	cliente _40	cliente _54	cliente _55	cliente _56
23	Depo sito1	client e_8	cliente _9	cliente _41	cliente _42	cliente _43	cliente _44	cliente _45	cliente _57	cliente _58	cliente _59

### Anexo 8: Tiempos de Ruta DET. NO. ACT

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	50	52	36	88	66	44	20	86	40	56	58
2	88	48	74	66	70	56	30	90	86	86	38
3	100	44	84	86	22	76	26	88	80	72	34
4	54	56	54	50	70	72	82	72	78	74	100
5	36	34	88	86	36	52	80	84	76	90	86
6	92	64	26	84	76	80	72	84	80	72	40
7	32	90	74	74	70	76	80	88	80	80	32
8	26	68	86	60	76	76	86	72	90	78	50
9	66	84	80	72	86	74	74	88	76	74	46
10	88	54	82	84	74	82	70	70	84	88	58
11	68	88	70	86	90	84	76	84	70	78	54
12	74	84	74	80	82	82	74	72	72	74	48
13	54	74	72	84	84	86	70	70	74	84	68
14	58	78	90	88	78	80	90	80	80	78	64
15	42	74	82	72	78	88	78	78	72	90	64
16	46	86	90	82	84	74	70	90	74	72	32
17	36	74	74	84	86	90	88	78		78	40
18	48	76	88	88	70	72	80	90	84	80	26
19	64	72	80	82	82	80	84	80	74	70	36
20	30	72	80	76	88	76	90	72	76	72	20
21	50	52	36	88	66	44	20	86	40	56	58
22	88	48	74	66	70	56	30	90	86	86	38
23	100	44	84	86	22	76	26	88	80	72	34

### Anexo 9: Rutas DET. DEO. MD

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	Deposito1	cliente_136	cliente_67	cliente_9	cliente_165	cliente_75	cliente_28	cliente_63	cliente_96	cliente_113
2	Deposito1	cliente_115	cliente_120	cliente_17	cliente_58	cliente_180	cliente_50	cliente_19	cliente_142	cliente_2
3	Deposito1	cliente_1	cliente_81	cliente_191	cliente_111	cliente_73	cliente_100	cliente_44	cliente_97	cliente_166
4	Deposito1	cliente_46	cliente_112	cliente_55	cliente_129	cliente_130	cliente_188	cliente_118	cliente_22	cliente_137
5	Deposito1	cliente_133	cliente_41	cliente_45	cliente_77	cliente_20	cliente_190	cliente_101	cliente_198	cliente_105
6	Deposito1	cliente_143	cliente_148	cliente_123	cliente_59	cliente_175				

7	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito2	_187	_65	_34	_153	_88	_184	_135	_47	_95
8	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito2	_156	_23	_158	_110	_144	_155	_6	_108	_154
9	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito2	_152	_122	_84	_10	_104	_78	_193	_126	_79
10	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito2	_93	_8	_37	_121	_61	_159	_90	_114	_157
11	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_27	_3	_124	_49	_68	_127	_147	_16	_141
12	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_15	_31	_119	_82	_85	_189	_186	_199	_38
13	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_91	_70	_42	_54	_86	_4	_62	_164	_181
14	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_48	_40	_195	_99	_200	_183	_74	_197	_196
15	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_56	_150	_76	_94	_87	_71	_146	_52	_103
16	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_57	_92	_24	_116	_131	_134	_26	_89	_30
17	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_5	_109	_13	_25	_53	_102	_12	_14	_138
18	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_21	_72	_7	_36	_149	_162	_161	_173	_177
19	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_170	_178	_182	_163	_160	_176	_169	_107	_140
20	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_185	_106	_32	_128	_145	_64	_139	_167	_11
21	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_98	_33	_83	_80	_60	_66	_29	_39	_69
22	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_171	_18	_168	_151	_132	_172	_174	_51	_117
23	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente				
	ito3	_192	_194	_179	_35	_125				



	ito2	_126	_88	_93	_144	_95	_155	_65	_158	_157
10	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito2	_79	_152	_108	_61	_153	_159	_90	_154	_135
11	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_182	_134	_145	_183	_70	_186	_139	_199	_69
12	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_43	_25	_48	_167	_60	_189	_102	_76	_194
13	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_53	_197	_92	_181	_80	_185	_132	_195	_56
14	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_66	_192	_103	_196	_39	_42	_200	_40	_49
15	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_26	_109	_21	_36	_38	_32	_27	_29	_31
16	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_33	_30	_35	_24	_51	_14	_13	_11	_18
17	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_5	_15	_3	_7	_16	_4	_12	_171	_62
18	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_68	_169	_117	_170	_57	_128	_119	_160	_149
19	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_162	_176	_107	_124	_83	_91	_52	_151	_150
20	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_177	_116	_140	_54	_85	_138	_163	_173	_161
21	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_174	_98	_178	_141	_172	_131	_164	_168	_82
22	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente
	ito3	_94	_86	_106	_71	_64	_127	_89	_72	_87
23	Depos	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente	cliente			
	ito3	_146	_147	_74	_179	_125	_99			

## Anexo 12: Tiempos de Ruta DET. MRO. MD

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	20	40	34	20	26	30	20	34	20	20
2	22	48	20	88	58	22	70	72	70	28
3	20	42	46	74	72	24	80	72	70	24
4	20	72	72	72	70	76	70	76	74	50
5	24	72	72	72	82	70	72	76	78	58
6	32	80	72	84	54					
7	42	20	22	30	26	80	38	22	48	52
8	40	70	70	70	46	54	80	72	70	54
9	40	70	70	72	70	70	72	70	70	45
10	42	74	70	70	90	78	80	74	90	42
11	20	20	88	70	48	20	20	20	20	20
12	22	20	22	88	70	20	24	88	28	28
13	20	30	20	30	20	22	20	64	20	24
14	38	24	22	64	20	24	20	20	20	28
15	22	74	70	22	34	24	40	28	34	42



16	22	22	36	20	70	70	24	24	32	60
17	24	26	42	30	20	60	46	70	70	46
18	20	70	70	70	72	70	70	70	70	64
19	22	70	70	70	70	70	70	70	70	50
20	22	70	70	70	70	70	70	70	70	30
21	22	72	72	70	70	70	70	70	70	28
22	30	70	74	70	70	76	70	72	78	46
23	30	78	78	80	70	78	44			

### Anexo 13: Rutas DET. TRO. MD

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	Deposito1	cliente_166	cliente_1	cliente_175	cliente_41	cliente_20	cliente_46	cliente_19	cliente_101	cliente_188
2	Deposito1	cliente_190	cliente_142	cliente_191	cliente_120	cliente_198	cliente_112	cliente_77	cliente_96	cliente_137
3	Deposito1	cliente_130	cliente_55	cliente_44	cliente_45	cliente_22	cliente_28	cliente_105	cliente_2	cliente_17
4	Deposito1	cliente_133	cliente_63	cliente_97	cliente_113	cliente_59	cliente_129	cliente_118	cliente_81	cliente_148
5	Deposito1	cliente_136	cliente_143	cliente_180	cliente_50	cliente_100	cliente_67	cliente_73	cliente_58	cliente_9
6	Deposito1	cliente_75	cliente_123	cliente_115	cliente_165					
7	Deposito2	cliente_187	cliente_122	cliente_184	cliente_78	cliente_155	cliente_110	cliente_108	cliente_79	cliente_23
8	Deposito2	cliente_65	cliente_193	cliente_90	cliente_157	cliente_144	cliente_47	cliente_34	cliente_37	cliente_6
9	Deposito2	cliente_126	cliente_88	cliente_10	cliente_8	cliente_104	cliente_93	cliente_152	cliente_61	cliente_135
10	Deposito2	cliente_114	cliente_84	cliente_153	cliente_159	cliente_121	cliente_158	cliente_95	cliente_154	cliente_156
11	Deposito3	cliente_70	cliente_186	cliente_39	cliente_196	cliente_139	cliente_150	cliente_48	cliente_199	cliente_69
12	Deposito3	cliente_43	cliente_182	cliente_134	cliente_200	cliente_40	cliente_183	cliente_53	cliente_197	cliente_128
13	Deposito3	cliente_25	cliente_35	cliente_24	cliente_26	cliente_38	cliente_185	cliente_71	cliente_181	cliente_80
14	Deposito3	cliente_21	cliente_36	cliente_194	cliente_119	cliente_189	cliente_60	cliente_192	cliente_124	cliente_103
15	Deposito3	cliente_57	cliente_92	cliente_195	cliente_64	cliente_160	cliente_149	cliente_42	cliente_29	cliente_27
16	Deposito3	cliente_33	cliente_30	cliente_31	cliente_32	cliente_49	cliente_7	cliente_16	cliente_14	cliente_13
17	Deposito3	cliente_15	cliente_109	cliente_87	cliente_68	cliente_169	cliente_11	cliente_18	cliente_3	cliente_85
18	Deposito3	cliente_151	cliente_132	cliente_176	cliente_56	cliente_91	cliente_52	cliente_140	cliente_138	cliente_164
19	Deposito3	cliente_76	cliente_131	cliente_167	cliente_117	cliente_170	cliente_162	cliente_168	cliente_94	cliente_51
20	Deposito3	cliente_76	cliente_131	cliente_167	cliente_117	cliente_170	cliente_162	cliente_168	cliente_94	cliente_51

<b>21</b>	to3	5	4	12	62	171	173	163	178	89
	Deposi	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_
<b>22</b>	to3	174	83	125	145	172	141	177	74	116
	Deposi	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_
<b>23</b>	to3	98	82	146	107	102	66	54	179	72
	Deposi	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_	cliente_			
	to3	161	106	86	99	127	147			

### Anexo 14: Tiempos de Ruta DET. TRO. MD

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	20	24	20	72	26	20	22	22	36	20
2	20	20	46	20	34	22	70	70	70	22
3	20	72	70	26	56	24	70	70	42	50
4	22	70	72	70	70	74	70	70	72	26
5	28	72	76	70	72	72	74	72	74	30
6	32	80	74	88	54					
7	44	22	48	20	70	72	80	84	70	62
8	44	66	20	70	72	70	28	62	70	54
9	40	70	72	50	70	70	70	72	78	42
10	54	70	74	78	72	78	76	80	76	39
11	20	20	20	20	22	78	70	24	20	20
12	22	20	20	36	20	20	20	30	20	40
13	20	22	20	26	22	22	20	62	20	56
14	20	22	32	20	48	20	38	20	88	52
15	24	70	40	20	70	70	70	20	28	32
16	22	22	30	66	28	70	20	36	24	56
17	22	88	70	70	70	70	32	36	84	52
18	24	70	70	70	82	70	70	70	70	50
19	22	70	70	90	70	70	70	70	70	30
20	24	48	46	70	70	70	70	70	70	48
21	22	70	72	70	70	70	70	74	70	30
22	30	74	72	70	80	74	72	70	70	34
23	30	84	74	70	72	74	52			

### Anexo 15: Rutas EST. DEO. ACT

Vehi culo	Depos ito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	Depos ito1	cliente _9	cliente _67	cliente _63	cliente _115	cliente _2	cliente _79	cliente _61	cliente _49	cliente _16
2	Depos ito1	cliente _75	cliente _41	cliente _45	cliente _77	cliente _20	cliente _58	cliente _17	cliente _50	cliente _19
3	Depos ito1	cliente _46	cliente _1	cliente _112	cliente _55	cliente _81	cliente _73	cliente _111	cliente _44	cliente _22
4	Depos ito1	cliente _13	cliente _11	cliente _72	cliente _36	cliente _74	cliente _4	cliente _51	cliente _70	cliente _23
5	Depos ito1	cliente _43	cliente _80	cliente _54	cliente _39	cliente _48	cliente _18	cliente _71	cliente _5	cliente _35
6	Depos ito1	cliente _114	cliente _10	cliente _78	cliente _8	cliente _37	cliente _59	cliente _113	cliente _60	cliente _53
7	Depos ito1	cliente _14	cliente _34	cliente _65	cliente _110	cliente _47	cliente _6	cliente _68	cliente _38	cliente _62
8	Depos ito1	cliente _56	cliente _12	cliente _24	cliente _52	cliente _15	cliente _42	cliente _21	cliente _76	cliente _32
9	Depos ito1	cliente _69	cliente _40	cliente _64	cliente _57	cliente _31	cliente _33	cliente _3	cliente _7	
10	Depos ito2	cliente _95	cliente _156	cliente _135	cliente _122	cliente _200	cliente _84	cliente _104	cliente _93	cliente _121
11	Depos ito2	cliente _154	cliente _108	cliente _131	cliente _155	cliente _171	cliente _106	cliente _129	cliente _130	cliente _105
12	Depos ito2	cliente _174	cliente _173	cliente _139	cliente _170	cliente _94	cliente _116	cliente _162	cliente _172	cliente _164
13	Depos ito2	cliente _126	cliente _175	cliente _118	cliente _123	cliente _125	cliente _66	cliente _26	cliente _30	cliente _117
14	Depos ito2	cliente _27	cliente _29	cliente _85	cliente _25	cliente _109	cliente _128	cliente _140	cliente _146	cliente _119
15	Depos ito2	cliente _137	cliente _148	cliente _136	cliente _133	cliente _127	cliente _103	cliente _138	cliente _134	cliente _124
16	Depos ito2	cliente _163	cliente _147	cliente _199	cliente _197	cliente _83	cliente _92	cliente _107	cliente _102	cliente _86
17	Depos ito2	cliente _198	cliente _96	cliente _28	cliente _120	cliente _132	cliente _82	cliente _196		
18	Depos ito3	cliente _149	cliente _177	cliente _159	cliente _181	cliente _160	cliente _151	cliente _176	cliente _168	cliente _144
19	Depos ito3	cliente _194	cliente _98	cliente _187	cliente _158	cliente _153	cliente _88	cliente _184	cliente _152	cliente _178
20	Depos ito3	cliente _91	cliente _99	cliente _145	cliente _186	cliente _185	cliente _182	cliente _195	cliente _190	cliente _183
21	Depos ito3	cliente _179	cliente _169	cliente _90	cliente _157	cliente _161	cliente _89	cliente _87	cliente _141	cliente _150
22	Depos ito3	cliente _101	cliente _97	cliente _166	cliente _188	cliente _191	cliente _100	cliente _143	cliente _165	cliente _192
23	Depos ito3	cliente _189	cliente _180	cliente _142	cliente _193	cliente _167				

### Anexo 16: Tiempos de Ruta Variabilidad 5% EST. DEO. ACT

Vehi culo	Deposi to	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	NORM(3 0,1,5)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 2,3,6)	NORM(9 2,4,6)
	NORM(3 2,1,6)	NORM(8 8,4,4)	NORM(5 8,2,9)	NORM(9 0,4,5)	NORM(8 6,4,3)	NORM(7 6,3,8)	NORM(9 0,4,5)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 4,3,7)	NORM(3 2,1,6)
2	NORM(4 2,2,1)	NORM(2 4,1,2)	NORM(4 6,2,3)	NORM(8 2,4,1)	NORM(8 0,4)	NORM(7 8,3,9)	NORM(8 8,4,4)	NORM(7 2,3,6)	NORM(4 2,2,1)	NORM(5 0,2,5)
	NORM(6 0,3)	NORM(2 4,1,2)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 6,3,8)	NORM(7 6,3,8)	NORM(8 2,4,1)	NORM(8 6,4,3)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 2,4,1)	NORM(9 8,4,9)
3	NORM(2 4,1,2)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(9 0,4,5)	NORM(8 2,4,1)	NORM(8 0,4)	NORM(8 6,4,3)	NORM(7 0,3,5)	NORM(6 8,3,4)
	NORM(9 0,4,5)	NORM(8 0,4)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 6,4,3)
4	NORM(3 6,1,8)	NORM(9 0,4,5)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 8,3,9)	NORM(8 2,4,1)	NORM(8 0,4)	NORM(8 6,4,3)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 2,3,6)	NORM(8 8,4,4)
	NORM(3 8,1,9)	NORM(7 8,3,9)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 6,3,8)	NORM(7 8,3,9)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 6,3,8)	NORM(6 6,3,3)
5	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 0,4)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 0,4)	NORM(4 2,2,1)	NORM(8 0,4)	NORM(3 0,1,5)		
	NORM(6 0,3)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 8,3,9)	NORM(7 4,3,7)	NORM(3 0,1,5)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 8,3,9)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 6,3,8)	NORM(5 4,2,7)
6	NORM(5 4,2,7)	NORM(9 0,4,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(9 0,4,5)	NORM(8 6,4,3)	NORM(8 6,4,3)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 0,3,5)
	NORM(4 4,2,2)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 8,3,9)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 6,4,3)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 2,4,1)
7	NORM(4 0,2)	NORM(7 6,3,8)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 8,3,9)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 6,3,8)	NORM(8 8,4,4)	NORM(3 6,1,8)	NORM(7 4,3,7)	NORM(5 2,2,6)
	NORM(8 4,4,2)	NORM(2 8,1,4)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 6,4,3)	NORM(9 0,4,5)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 6,4,3)	NORM(7 6,3,8)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 6,3,8)
8	NORM(4 8,2,4)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 0,3,5)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 6,4,3)	NORM(9 0,4,5)	NORM(7 6,3,8)	NORM(9 0,4,5)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 0,3,5)
	NORM(8 2,4,1)	NORM(9 0,4,5)	NORM(7 8,3,9)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 6,3,8)	NORM(8 0,4)	NORM(8 4,4,2)	NORM(4 2,2,1)
9	NORM(6 4,3,2)	NORM(4 8,2,4)	NORM(7 6,4,3)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 8,4,4)	NORM(3 2,1,6)			
	NORM(6 4,3,2)	NORM(7 2,3,6)	NORM(8 6,4,3)	NORM(8 4,4,2)	NORM(9 0,4,5)	NORM(7 6,3,8)	NORM(7 8,3,9)	NORM(7 8,3,9)	NORM(7 0,3,5)	NORM(6 8,3,4)
10	NORM(2 8,1,4)	NORM(3 4,1,7)	NORM(8 0,4)	NORM(8 6,4,3)	NORM(7 8,3,9)	NORM(7 6,3,8)	NORM(5 2,2,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(9 0,4,5)	NORM(3 4,1,7)
	NORM(3 0,1,5)	NORM(7 8,3,9)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 6,4,3)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 0,4)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 6,3,8)	NORM(9 0,4,5)	NORM(2 0,1)
11	NORM(5 2,2,6)	NORM(8 2,4,1)	NORM(8 0,4)	NORM(7 0,3,5)	NORM(9 0,4,5)	NORM(8 2,4,1)	NORM(8 6,4,3)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 6,4,3)	NORM(5 0,2,5)
	NORM(3 6,1,8)	NORM(9 0,4,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 0,3,5)	NORM(3 2,1,6)	NORM(7 2,3,6)	NORM(8 6,4,3)	NORM(8 8,4,4)	NORM(4 0,2)
12	NORM(2 6,1,3)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 2,4,1)	NORM(2 2,1,1)	NORM(7 4,3,7)	NORM(3 2,1,6)				



## Anexo 18: Tiempos de Ruta Variabilidad 15% EST. DEO. ACT

Vehi culo	Deposi to	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	NORM(3 0,4,5)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 2,10,8)	NORM(9 2,13,8)
2	NORM(3 2,4,8)	NORM(8 8,13,2)	NORM(5 8,8,7)	NORM(9 0,13,5)	NORM(8 6,12,9)	NORM(7 6,11,4)	NORM(9 0,13,5)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 4,11,1)	NORM(3 2,4,8)
3	NORM(4 2,6,3)	NORM(2 4,3,6)	NORM(4 6,6,9)	NORM(8 2,12,3)	NORM(8 0,12)	NORM(7 8,11,7)	NORM(8 8,13,2)	NORM(7 2,10,8)	NORM(4 2,6,3)	NORM(5 0,7,5)
4	NORM(6 0,9)	NORM(2 4,3,6)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 6,11,4)	NORM(7 6,11,4)	NORM(8 2,12,3)	NORM(8 6,12,9)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 2,12,3)	NORM(9 8,14,7)
5	NORM(2 4,3,6)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(9 0,13,5)	NORM(8 2,12,3)	NORM(8 0,12)	NORM(8 6,12,9)	NORM(7 0,10,5)	NORM(6 8,10,2)
6	NORM(9 0,13,5)	NORM(8 0,12)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 6,12,9)
7	NORM(3 6,5,4)	NORM(9 0,13,5)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 8,11,7)	NORM(8 2,12,3)	NORM(8 0,12)	NORM(8 6,12,9)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 2,10,8)	NORM(8 8,13,2)
8	NORM(3 8,5,7)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 6,11,4)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 6,11,4)	NORM(6 6,9,9)
9	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 0,12)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 0,12)	NORM(4 2,6,3)	NORM(8 0,12)	NORM(3 0,4,5)	NORM(9 4,14,1)	
10	NORM(6 0,9)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 4,11,1)	NORM(3 0,4,5)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 6,11,4)	NORM(5 4,8,1)
11	NORM(5 4,8,1)	NORM(9 0,13,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(9 0,13,5)	NORM(8 6,12,9)	NORM(8 6,12,9)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 0,10,5)
12	NORM(4 4,6,6)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 8,11,7)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 6,12,9)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 2,12,3)
13	NORM(4 0,6)	NORM(7 6,11,4)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 6,11,4)	NORM(8 8,13,2)	NORM(3 6,5,4)	NORM(7 4,11,1)	NORM(5 2,7,8)
14	NORM(8 4,12,6)	NORM(2 8,4,2)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 6,12,9)	NORM(9 0,13,5)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 6,12,9)	NORM(7 6,11,4)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 6,11,4)
15	NORM(4 8,7,2)	NORM(8 8,13,2)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 6,12,9)	NORM(9 0,13,5)	NORM(7 6,11,4)	NORM(9 0,13,5)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 0,10,5)
16	NORM(8 2,12,3)	NORM(9 0,13,5)	NORM(7 8,11,7)	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 6,11,4)	NORM(8 0,12)	NORM(8 4,12,6)	NORM(4 2,6,3)
17	NORM(6 4,9,6)	NORM(4 8,7,2)	NORM(8 6,12,9)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 8,13,2)	NORM(3 2,4,8)	NORM(7 8,11,7)		
18	NORM(6 4,9,6)	NORM(7 2,10,8)	NORM(8 6,12,9)	NORM(8 4,12,6)	NORM(9 0,13,5)	NORM(7 6,11,4)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 0,10,5)	NORM(6 8,10,2)
19	NORM(2 8,4,2)	NORM(3 4,5,1)	NORM(8 0,12)	NORM(8 6,12,9)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 6,11,4)	NORM(5 2,7,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(9 0,13,5)	NORM(3 4,5,1)
20	NORM(3 0,4,5)	NORM(7 8,11,7)	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 6,12,9)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 0,12)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 6,11,4)	NORM(9 0,13,5)	NORM(2 0,3)
21	NORM(5 2,7,8)	NORM(8 2,12,3)	NORM(8 0,12)	NORM(7 0,10,5)	NORM(9 0,13,5)	NORM(8 2,12,3)	NORM(8 6,12,9)	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 6,12,9)	NORM(5 0,7,5)
22	NORM(3 6,5,4)	NORM(9 0,13,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(3 2,4,8)	NORM(7 2,10,8)	NORM(8 6,12,9)	NORM(8 8,13,2)	NORM(4 0,6)
23	NORM(2 6,3,9)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 2,12,3)	NORM(2 2,3,3)	NORM(7 4,11,1)	NORM(3 2,4,8)				

## Anexo 19: Rutas EST. MRO. ACT

Vehi culo	Depos ito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	Depos ito1	cliente _2	cliente _5	cliente _9	cliente _7	cliente _16	cliente _10	cliente _18	cliente _17	cliente _19
2	Depos ito1	cliente _41	cliente _20	cliente _48	cliente _42	cliente _43	cliente _46	cliente _38	cliente _44	cliente _23
3	Depos ito1	cliente _21	cliente _40	cliente _49	cliente _47	cliente _33	cliente _34	cliente _79	cliente _1	cliente _45
4	Depos ito1	cliente _55	cliente _111	cliente _50	cliente _76	cliente _22	cliente _37	cliente _39	cliente _32	cliente _36
5	Depos ito1	cliente _14	cliente _13	cliente _8	cliente _11	cliente _4	cliente _12	cliente _15	cliente _3	cliente _6
6	Depos ito1	cliente _75	cliente _113	cliente _59	cliente _51	cliente _69	cliente _80	cliente _67	cliente _53	cliente _57
7	Depos ito1	cliente _77	cliente _112	cliente _65	cliente _60	cliente _73	cliente _58	cliente _63	cliente _62	cliente _78
8	Depos ito1	cliente _68	cliente _64	cliente _56	cliente _61	cliente _110	cliente _31	cliente _24	cliente _35	cliente _72
9	Depos ito1	cliente _81	cliente _74	cliente _54	cliente _52	cliente _114	cliente _71	cliente _70	cliente _115	
10	Depos ito2	cliente _126	cliente _196	cliente _140	cliente _197	cliente _131	cliente _198	cliente _138	cliente _199	cliente _139
11	Depos ito2	cliente _134	cliente _133	cliente _92	cliente _200	cliente _120	cliente _162	cliente _107	cliente _129	cliente _122
12	Depos ito2	cliente _137	cliente _154	cliente _29	cliente _27	cliente _28	cliente _26	cliente _30	cliente _172	cliente _86
13	Depos ito2	cliente _174	cliente _175	cliente _95	cliente _94	cliente _148	cliente _25	cliente _83	cliente _125	cliente _127
14	Depos ito2	cliente _118	cliente _102	cliente _104	cliente _82	cliente _128	cliente _146	cliente _130	cliente _84	cliente _155
15	Depos ito2	cliente _116	cliente _108	cliente _147	cliente _171	cliente _173	cliente _105	cliente _96	cliente _123	cliente _119
16	Depos ito2	cliente _135	cliente _124	cliente _156	cliente _66	cliente _93	cliente _121	cliente _106	cliente _136	cliente _85
17	Depos ito2	cliente _109	cliente _103	cliente _117	cliente _170	cliente _132	cliente _164	cliente _163		
18	Depos ito3	cliente _183	cliente _90	cliente _193	cliente _142	cliente _190	cliente _91	cliente _186	cliente _99	cliente _182
19	Depos ito3	cliente _160	cliente _184	cliente _141	cliente _181	cliente _87	cliente _195	cliente _97	cliente _98	cliente _194
20	Depos ito3	cliente _189	cliente _88	cliente _191	cliente _100	cliente _185	cliente _89	cliente _187	cliente _101	cliente _188
21	Depos ito3	cliente _177	cliente _144	cliente _168	cliente _159	cliente _157	cliente _151	cliente _192	cliente _143	cliente _149
22	Depos ito3	cliente _176	cliente _145	cliente _179	cliente _150	cliente _165	cliente _153	cliente _167	cliente _178	cliente _161
23	Depos ito3	cliente _169	cliente _158	cliente _166	cliente _180	cliente _152				

## Anexo 20: Tiempos de Ruta Variabilidad 5% EST. MRO. ACT

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)
2	NORM(24,1,2)	NORM(24,1,2)	NORM(24,1,2)	NORM(24,1,2)	NORM(22,1)	NORM(22,1)	NORM(22,1)	NORM(22,1)	NORM(22,1)	NORM(22,1)
3	NORM(26,1,3)	NORM(26,1,3)	NORM(26,1,3)	NORM(26,1,3)	NORM(22,1)	NORM(22,1)	NORM(7)	NORM(4)	NORM(2)	NORM(3)
4	NORM(30,1,5)	NORM(30,1,5)	NORM(30,1,5)	NORM(30,1,5)	NORM(70,3)	NORM(70,3)	NORM(2)	NORM(2)	NORM(4)	NORM(6)
5	NORM(36,1,8)	NORM(36,1,8)	NORM(36,1,8)	NORM(36,1,8)	NORM(40,2)	NORM(40,2)	NORM(5)	NORM(4)	NORM(6)	NORM(6)
6	NORM(32,1,6)	NORM(32,1,6)	NORM(32,1,6)	NORM(32,1,6)	NORM(70,3)	NORM(70,3)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(6)
7	NORM(38,1,9)	NORM(38,1,9)	NORM(38,1,9)	NORM(38,1,9)	NORM(70,3)	NORM(70,3)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(4)
8	NORM(42,2,1)	NORM(42,2,1)	NORM(42,2,1)	NORM(42,2,1)	NORM(70,3)	NORM(70,3)	NORM(6)	NORM(2)	NORM(7)	NORM(9)
9	NORM(40,2)	NORM(40,2)	NORM(40,2)	NORM(40,2)	NORM(70,3)	NORM(70,3)	NORM(7)	NORM(7)		
10	NORM(40,2)	NORM(40,2)	NORM(40,2)	NORM(40,2)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(2)	NORM(2)	NORM(2)	NORM(8)
11	NORM(42,2,1)	NORM(42,2,1)	NORM(42,2,1)	NORM(42,2,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(4)
12	NORM(48,2,4)	NORM(48,2,4)	NORM(48,2,4)	NORM(48,2,4)	NORM(40,2)	NORM(40,2)	NORM(3)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(4)
13	NORM(44,2,2)	NORM(44,2,2)	NORM(44,2,2)	NORM(44,2,2)	NORM(72,3)	NORM(72,3)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(6)
14	NORM(46,2,3)	NORM(46,2,3)	NORM(46,2,3)	NORM(46,2,3)	NORM(74,3)	NORM(74,3)	NORM(8)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(5)
15	NORM(82,4,1)	NORM(82,4,1)	NORM(82,4,1)	NORM(82,4,1)	NORM(70,3)	NORM(70,3)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(8)	NORM(7)
16	NORM(42,2,1)	NORM(42,2,1)	NORM(42,2,1)	NORM(42,2,1)	NORM(72,3)	NORM(72,3)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(5)
17	NORM(54,2,7)	NORM(54,2,7)	NORM(54,2,7)	NORM(54,2,7)	NORM(74,3)	NORM(74,3)	NORM(8)	NORM(9)	NORM(8)	
18	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(3)	NORM(3)	NORM(2)	NORM(2)
19	NORM(22,1,1)	NORM(22,1,1)	NORM(22,1,1)	NORM(22,1,1)	NORM(28,1)	NORM(28,1)	NORM(4)	NORM(8)	NORM(3)	NORM(2)
20	NORM(26,1,3)	NORM(26,1,3)	NORM(26,1,3)	NORM(26,1,3)	NORM(28,1)	NORM(28,1)	NORM(4)	NORM(2)	NORM(4)	NORM(6)
21	NORM(22,1,1)	NORM(22,1,1)	NORM(22,1,1)	NORM(22,1,1)	NORM(70,3)	NORM(70,3)	NORM(7)	NORM(4)	NORM(7)	NORM(6)
22	NORM(26,1,3)	NORM(26,1,3)	NORM(26,1,3)	NORM(26,1,3)	NORM(76,3)	NORM(76,3)	NORM(7)	NORM(7)	NORM(8)	NORM(3)
23	NORM(34,1,7)	NORM(34,1,7)	NORM(34,1,7)	NORM(34,1,7)	NORM(76,3)	NORM(76,3)	NORM(6)			



## Anexo 21: Tiempos de Ruta Variabilidad 10% EST. MRO. ACT

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(6,2,6)	NORM(20,2)	NORM(26,2,6)	NORM(22,2)	NORM(26,2,6)	NORM(48,4,8)	NORM(32,3,2)
2	NORM(24,2,4)	NORM(26,2,6)	NORM(24,2)	NORM(4,2,4)	NORM(22,2,2)	NORM(20,2)	NORM(22,2)	NORM(20,2)	NORM(22,2,2)	NORM(98,9,8)
3	NORM(26,2,6)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(4,2,4)	NORM(22,2,2)	NORM(20,2)	NORM(8,7,8)	NORM(4,4,4)	NORM(20,2)	NORM(34,3,4)
4	NORM(30,3)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(30,3)	NORM(4,2,4)	NORM(4,2,4)	NORM(44,4,4)	NORM(62,6,2)
5	NORM(36,3,6)	NORM(4,2,4)	NORM(20,2)	NORM(2,2,2)	NORM(40,4)	NORM(46,4,6)	NORM(4,5,4)	NORM(2,4,2)	NORM(64,6,4)	NORM(68,6,8)
6	NORM(32,3,2)	NORM(2,7,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(66,6,6)
7	NORM(38,3,8)	NORM(70,7)	NORM(2,7,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(2,7,2)	NORM(76,7,6)	NORM(44,4,4)
8	NORM(42,4,2)	NORM(72,7,2)	NORM(2,7,2)	NORM(4,7,4)	NORM(70,7)	NORM(74,7,4)	NORM(2,6,2)	NORM(20,2)	NORM(72,7,2)	NORM(92,9,2)
9	NORM(40,4)	NORM(76,7,6)	NORM(74,7,4)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(76,7,6)	NORM(8,7,8)	NORM(50,5)	
10	NORM(40,4)	NORM(8,3,8)	NORM(2,2,2)	NORM(8,4,8)	NORM(20,2)	NORM(2,2,2)	NORM(22,2,2)	NORM(4,2,4)	NORM(20,2)	NORM(82,8,2)
11	NORM(42,4,2)	NORM(74,7,4)	NORM(8,4,8)	NORM(40,4)	NORM(20,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(46,4,6)
12	NORM(48,4,8)	NORM(70,7)	NORM(2,7,2)	NORM(8,2,8)	NORM(40,4)	NORM(20,2)	NORM(36,3,6)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(42,4,2)
13	NORM(44,4,4)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(6,7,6)	NORM(2,7,2)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(2,7,2)	NORM(74,7,4)	NORM(60,6)
14	NORM(46,4,6)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(2,7,2)	NORM(4,7,4)	NORM(70,7)	NORM(82,8,2)	NORM(2,7,2)	NORM(70,7)	NORM(56,5,6)
15	NORM(82,8,2)	NORM(70,7)	NORM(2,7,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(80,8)	NORM(76,7,6)
16	NORM(42,4,2)	NORM(72,7,2)	NORM(2,7,2)	NORM(70,7)	NORM(2,7,2)	NORM(6,7,6)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(58,5,8)
17	NORM(54,5,4)	NORM(70,7)	NORM(4,7,4)	NORM(70,7)	NORM(4,7,4)	NORM(8,4,8)	NORM(90,9)	NORM(8,2,8,2)		
18	NORM(20,2)	NORM(4,2,4)	NORM(20,2)	NORM(2,2,2)	NORM(20,2)	NORM(36,3,6)	NORM(34,3,4)	NORM(2,2,2)	NORM(26,2,6)	NORM(20,2)
19	NORM(22,2,2)	NORM(70,7)	NORM(20,2)	NORM(2,3,2)	NORM(8,2,8)	NORM(2,2,2)	NORM(48,4,8)	NORM(8,8,8)	NORM(34,3,4)	NORM(28,2,8)
20	NORM(26,2,6)	NORM(2,2,2)	NORM(40,4)	NORM(2,3,2)	NORM(8,2,8)	NORM(4,4,4)	NORM(24,2,4)	NORM(40,4)	NORM(36,3,6)	NORM(64,6,4)
21	NORM(22,2,2)	NORM(2,7,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(2,7,2)	NORM(70,7)	NORM(4,4,4)	NORM(70,7)	NORM(64,6,4)

22	NORM(26,2,6)	NORM(7,0,7)	NORM(7,0,7)	NORM(7,0,7)	NORM(7,6,7,6)	NORM(7,0,7)	NOR M(72,7,2)	NORM(8,0,8)	NORM(76,7,6)	NORM(3,0,3)
23	NORM(34,3,4)	NORM(7,2,7,2)	NORM(9,0,9)	NORM(7,2,7,2)	NORM(7,6,7,6)	NORM(6,6,6,6)				

## Anexo 22: Tiempos de Ruta Variabilidad 15% EST. MRO. ACT

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	NORM(2,0,3)	NORM(2,0,3)	NORM(2,0,3)	NORM(26,3,9)	NORM(2,0,3)	NORM(2,6,3,9)	NORM(2,2,3,3)	NORM(2,6,3,9)	NORM(4,8,7,2)	NORM(3,2,4,8)
2	NORM(2,4,3,6)	NORM(2,6,3,9)	NORM(2,0,3)	NORM(24,3,6)	NORM(2,2,3,3)	NORM(2,0,3)	NORM(2,2,3,3)	NORM(2,0,3)	NORM(2,2,3,3)	NORM(9,8,14,7)
3	NORM(2,6,3,9)	NORM(2,0,3)	NORM(2,0,3)	NORM(24,3,6)	NORM(2,2,3,3)	NORM(2,0,3)	NORM(7,8,11,7)	NORM(4,4,6,6)	NORM(2,0,3)	NORM(3,4,5,1)
4	NORM(3,0,4,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(3,0,4,5)	NORM(2,4,3,6)	NORM(2,4,3,6)	NORM(4,4,6,6)	NORM(6,2,9,3)
5	NORM(3,6,5,4)	NORM(2,4,3,6)	NORM(2,0,3)	NORM(22,3,3)	NORM(4,0,6)	NORM(4,6,6,9)	NORM(5,4,8,1)	NORM(4,2,6,3)	NORM(6,4,9,6)	NORM(6,8,10,2)
6	NORM(3,2,4,8)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,0,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(6,6,9,9)
7	NORM(3,8,5,7)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,2,10,8)	NORM(70,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,6,11,4)	NORM(4,4,6,6)
8	NORM(4,2,6,3)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,2,10,8)	NORM(74,11,1)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,4,11,1)	NORM(6,2,9,3)	NORM(2,0,3)	NORM(7,2,10,8)	NORM(9,2,13,8)
9	NORM(4,0,6)	NORM(7,6,11,4)	NORM(7,4,11,1)	NORM(72,10,8)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,6,11,4)	NORM(7,8,11,7)	NORM(5,0,7,5)	
10	NORM(4,0,6)	NORM(3,8,5,7)	NORM(2,2,3,3)	NORM(48,7,2)	NORM(2,0,3)	NORM(2,2,3,3)	NORM(2,2,3,3)	NORM(2,4,3,6)	NORM(2,0,3)	NORM(8,2,12,3)
11	NORM(4,2,6,3)	NORM(7,4,11,1)	NORM(8,4,12,6)	NORM(40,6)	NORM(2,0,3)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(4,6,6,9)
12	NORM(4,8,7,2)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,2,10,8)	NORM(28,4,2)	NORM(4,0,6)	NORM(2,0,3)	NORM(3,6,5,4)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(4,2,6,3)
13	NORM(4,4,6,6)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(76,11,4)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,4,11,1)	NORM(6,0,9)
14	NORM(4,6,6,9)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,0,10,5)	NORM(72,10,8)	NORM(7,4,11,1)	NORM(7,0,10,5)	NORM(8,2,12,3)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,0,10,5)	NORM(5,6,8,4)
15	NORM(8,2,12,3)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,2,10,8)	NORM(70,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(8,0,12)	NORM(7,6,11,4)
16	NORM(4,2,6,3)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,2,10,8)	NORM(70,10,5)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,6,11,4)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(5,8,8,7)
17	NORM(5,4,8,1)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,4,11,1)	NORM(70,10,5)	NORM(7,4,11,1)	NORM(8,4,12,6)	NORM(9,0,13,5)	NORM(8,2,12,3)		
18	NORM(2,0,3)	NORM(2,4,3,6)	NORM(2,0,3)	NORM(22,3,3)	NORM(2,0,3)	NORM(3,6,5,4)	NORM(3,4,5,1)	NORM(2,2,3,3)	NORM(2,6,3,9)	NORM(2,0,3)
19	NORM(2,2,3,3)	NORM(7,0,10,5)	NORM(2,0,3)	NORM(32,4,8)	NORM(2,8,4,2)	NORM(2,2,3,3)	NORM(4,8,7,2)	NORM(8,8,13,2)	NORM(3,4,5,1)	NORM(2,8,4,2)
20	NORM(2,6,3,9)	NORM(2,2,3,3)	NORM(4,0,6)	NORM(32,4,8)	NORM(2,8,4,2)	NORM(4,4,6,6)	NORM(2,4,3,6)	NORM(4,0,6)	NORM(3,6,5,4)	NORM(6,4,9,6)
21	NORM(2,2,3,3)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,0,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,2,10,8)	NORM(7,0,10,5)	NORM(4,4,6,6)	NORM(7,0,10,5)	NORM(6,4,9,6)
22	NORM(2,6,3,9)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,0,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(7,6,11,4)	NORM(7,0,10,5)	NORM(7,2,10,8)	NORM(8,0,12)	NORM(7,6,11,4)	NORM(3,0,4,5)
23	NORM(3,4,5,1)	NORM(7,2,10,8)	NORM(9,0,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(7,6,11,4)	NORM(6,6,9,9)				

## Anexo 23: Rutas EST. TRO. ACT

Vehi culo	Depos ito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	Depos ito1	cliente _2	cliente _5	cliente _1	cliente _45	cliente _40	cliente _21	cliente _19	cliente _114	cliente _38
2	Depos ito1	cliente _56	cliente _23	cliente _44	cliente _42	cliente _43	cliente _46	cliente _20	cliente _48	cliente _41
3	Depos ito1	cliente _9	cliente _7	cliente _16	cliente _10	cliente _18	cliente _17	cliente _12	cliente _14	cliente _13
4	Depos ito1	cliente _111	cliente _50	cliente _67	cliente _55	cliente _64	cliente _75	cliente _36	cliente _39	cliente _32
5	Depos ito1	cliente _59	cliente _8	cliente _11	cliente _4	cliente _15	cliente _79	cliente _33	cliente _37	cliente _47
6	Depos ito1	cliente _58	cliente _63	cliente _31	cliente _34	cliente _24	cliente _35	cliente _49	cliente _22	cliente _76
7	Depos ito1	cliente _113	cliente _72	cliente _77	cliente _78	cliente _6	cliente _3	cliente _81	cliente _80	cliente _54
8	Depos ito1	cliente _73	cliente _60	cliente _65	cliente _112	cliente _69	cliente _61	cliente _110	cliente _51	cliente _68
9	Depos ito1	cliente _70	cliente _53	cliente _62	cliente _115	cliente _74	cliente _57	cliente _52	cliente _71	
10	Depos ito2	cliente _172	cliente _198	cliente _106	cliente _199	cliente _139	cliente _196	cliente _121	cliente _197	cliente _92
11	Depos ito2	cliente _120	cliente _155	cliente _127	cliente _200	cliente _129	cliente _108	cliente _82	cliente _104	cliente _156
12	Depos ito2	cliente _29	cliente _27	cliente _28	cliente _26	cliente _30	cliente _94	cliente _25	cliente _138	cliente _103
13	Depos ito2	cliente _126	cliente _125	cliente _83	cliente _174	cliente _118	cliente _86	cliente _148	cliente _154	cliente _137
14	Depos ito2	cliente _134	cliente _173	cliente _135	cliente _95	cliente _175	cliente _132	cliente _85	cliente _136	cliente _171
15	Depos ito2	cliente _128	cliente _93	cliente _133	cliente _131	cliente _109	cliente _170	cliente _117	cliente _119	cliente _66
16	Depos ito2	cliente _122	cliente _146	cliente _107	cliente _140	cliente _102	cliente _124	cliente _162	cliente _123	cliente _96
17	Depos ito2	cliente _84	cliente _130	cliente _163	cliente _105	cliente _164	cliente _116	cliente _147		
18	Depos ito3	cliente _182	cliente _88	cliente _183	cliente _90	cliente _193	cliente _142	cliente _190	cliente _87	cliente _181
19	Depos ito3	cliente _177	cliente _100	cliente _189	cliente _89	cliente _184	cliente _141	cliente _186	cliente _99	cliente _178
20	Depos ito3	cliente _166	cliente _97	cliente _192	cliente _143	cliente _188	cliente _98	cliente _194	cliente _101	cliente _187
21	Depos ito3	cliente _160	cliente _149	cliente _195	cliente _167	cliente _151	cliente _159	cliente _191	cliente _168	cliente _144
22	Depos ito3	cliente _176	cliente _180	cliente _185	cliente _91	cliente _161	cliente _152	cliente _165	cliente _179	cliente _145
23	Depos ito3	cliente _169	cliente _158	cliente _157	cliente _153	cliente _150				

## Anexo 24: Tiempos de Ruta Variabilidad 5% EST. TRO. ACT

Vehi culo	Deposi to	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	NORM(2 0,1)	NORM(2 0,1)	NORM(2 0,1)	NORM(2 0,1)	NORM(2 4,1,2)	NORM(2 0,1)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 0,1)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 2,4,1)
2	NORM(3 8,1,9)	NORM(7 0,3,5)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 0,1)	NORM(2 0,1)	NORM(2 0,1)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 4,1,2)
3	NORM(3 0,1,5)	NORM(2 6,1,3)	NORM(2 0,1)	NORM(2 6,1,3)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 6,1,3)	NORM(4 6,2,3)	NORM(3 2,1,6)	NORM(2 4,1,2)	NORM(6 0,3)
4	NORM(3 2,1,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(3 4,1,7)	NORM(2 4,1,2)	NORM(6 6,3,3)
5	NORM(3 4,1,7)	NORM(7 0,3,5)	NORM(2 2,1,1)	NORM(4 0,2)	NORM(5 0,2,5)	NORM(9 0,4,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 6,1,3)	NORM(8 6,4,3)
6	NORM(3 4,1,7)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(3 4,1,7)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 0,1)	NORM(5 6,2,8)	NORM(3 8,1,9)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 8,4,4)
7	NORM(3 4,1,7)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(6 4,3,2)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(1 00,5)
8	NORM(4 0,2)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 4,3,7)	NORM(4 2,2,1)
9	NORM(4 4,2,2)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 6,3,8)	NORM(8 0,4)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 6,3,8)	NORM(8 0,4)	NORM(8 6,4,8)	NORM(9 6,4,8)
10	NORM(4 4,2,2)	NORM(7 0,3,5)	NORM(4 6,2,3)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 0,1)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 0,1)	NORM(3 0,1,5)	NORM(2 0,1)	NORM(7 0,3,5)
11	NORM(4 4,2,2)	NORM(8 8,4,4)	NORM(7 0,3,5)	NORM(4 4,2,2)	NORM(2 0,1)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(3 9,1,95)
12	NORM(4 0,2)	NORM(2 8,1,4)	NORM(4 0,2)	NORM(2 0,1)	NORM(3 6,1,8)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 6,3,8)	NORM(7 8,3,9)
13	NORM(4 0,2)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(4 8,2,4)
14	NORM(4 2,2,1)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(8 6,4,3)
15	NORM(5 0,2,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(6 4,3,2)
16	NORM(4 6,2,3)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(5 8,2,9)
17	NORM(5 4,2,7)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 6,3,8)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 8,3,9)	NORM(9 0,4,5)		
18	NORM(2 0,1)	NORM(3 0,1,5)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 4,1,2)	NORM(2 0,1)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 0,1)	NORM(2 2,2,1)	NORM(4 8,1,4)	NORM(2 2,1,1)
19	NORM(2 2,1,1)	NORM(7 0,3,5)	NORM(2 4,1,2)	NORM(2 6,1,3)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 0,1)	NORM(2 4,1,2)	NORM(2 2,1,1)	NORM(7 8,3,9)	NORM(3 4,1,7)
20	NORM(5 0,2,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(4 8,2,4)	NORM(4 4,2,2)	NORM(3 8,1,9)	NORM(3 2,1,6)	NORM(3 4,1,7)	NORM(2 2,1,1)	NORM(2 0,2)	NORM(6 4,3,2)
21	NORM(2 2,1,1)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(6 8,3,4)
22	NORM(2 6,1,3)	NORM(7 8,3,9)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 8,3,9)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 0,3,5)	NORM(5 8,2,9)
23	NORM(3 4,1,7)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 8,4,4)	NORM(5 0,2,5)				

## Anexo 25: Tiempos de Ruta Variabilidad 10% EST. TRO. ACT

Vehículo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	NORM(2 0,2)	NORM(2 0,2)	NORM(2 0,2)	NORM(2 0,2)	NORM(2 4,2,4)	NORM(2 0,2)	NORM(2 2,2,2)	NORM(2 0,2)	NORM(7 0,7)	NORM(8 2,8,2)
2	NORM(3 8,3,8)	NORM(7 0,7)	NORM(2 2,2,2)	NORM(2 2,2,2)	NORM(2 2,2,2)	NORM(2 0,2)	NORM(2 0,2)	NORM(2 0,2)	NORM(2 2,2,2)	NORM(2 4,2,4)
3	NORM(3 0,3)	NORM(2 6,2,6)	NORM(2 0,2)	NORM(2 6,2,6)	NORM(2 2,2,2)	NORM(2 6,2,6)	NORM(4 6,4,6)	NORM(3 2,3,2)	NORM(2 4,2,4)	NORM(6 0,6)
4	NORM(3 2,3,2)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(3 4,3,4)	NORM(2 4,2,4)	NORM(6 6,6,6)
5	NORM(3 4,3,4)	NORM(7 0,7)	NORM(2 2,2,2)	NORM(4 0,4)	NORM(5 0,5)	NORM(9 0,9)	NORM(7 2,7,2)	NORM(2 2,2,2)	NORM(2 6,2,6)	NORM(8 6,8,6)
6	NORM(3 4,3,4)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(3 4,3,4)	NORM(2 2,2,2)	NORM(2 0,2)	NORM(5 6,5,6)	NORM(3 8,3,8)	NORM(7 0,7)	NORM(8 8,8,8)
7	NORM(3 4,3,4)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 0,7)	NORM(6 4,6,4)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 0,7)	NORM(1 00,10)
8	NORM(4 0,4)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 4,7,4)	NORM(7 4,7,4)	NORM(4 2,4,2)
9	NORM(4 4,4,4)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 6,7,6)	NORM(8 0,8)	NORM(7 0,7)	NORM(7 6,7,6)	NORM(8 0,8)	NORM(9 6,9,6)	
10	NORM(4 4,4,4)	NORM(7 0,7)	NORM(4 6,4,6)	NORM(2 2,2,2)	NORM(2 0,2)	NORM(2 2,2,2)	NORM(2 0,2)	NORM(3 0,3)	NORM(2 0,2)	NORM(7 0,7)
11	NORM(4 4,4,4)	NORM(8 8,8,8)	NORM(7 0,7)	NORM(4 4,4,4)	NORM(2 0,2)	NORM(8 2,8,2)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 0,7)	NORM(3 9,3,9)
12	NORM(4 0,4)	NORM(2 8,2,8)	NORM(4 0,4)	NORM(2 0,2)	NORM(3 6,3,6)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 6,7,6)	NORM(7 8,7,8)
13	NORM(4 0,4)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 0,7)	NORM(4 8,4,8)
14	NORM(4 2,4,2)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(8 6,8,6)
15	NORM(5 0,5)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 0,7)	NORM(8 2,8,2)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(6 4,6,4)
16	NORM(4 6,4,6)	NORM(7 4,7,4)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 4,7,4)	NORM(7 4,7,4)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(5 8,5,8)
17	NORM(5 4,5,4)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 6,7,6)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 4,7,4)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 8,7,8)	NORM(9 0,9)	NORM(5 4,5,4)	
18	NORM(2 0,2)	NORM(3 0,3)	NORM(2 2,2,2)	NORM(2 4,2,4)	NORM(2 0,2)	NORM(2 2,2,2)	NORM(2 0,2)	NORM(4 2,4,2)	NORM(2 8,2,8)	NORM(2 2,2,2)
19	NORM(2 2,2,2)	NORM(7 0,7)	NORM(2 4,2,4)	NORM(2 6,2,6)	NORM(2 2,2,2)	NORM(2 0,2)	NORM(2 4,2,4)	NORM(2 2,2,2)	NORM(7 8,7,8)	NORM(3 4,3,4)
20	NORM(5 0,5)	NORM(7 2,7,2)	NORM(4 8,4,8)	NORM(4 4,4,4)	NORM(3 8,3,8)	NORM(3 2,3,2)	NORM(3 4,3,4)	NORM(2 2,2,2)	NORM(4 0,4)	NORM(6 4,6,4)
21	NORM(2 2,2,2)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(6 8,6,8)
22	NORM(2 6,2,6)	NORM(7 8,7,8)	NORM(7 4,7,4)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 8,7,8)	NORM(7 4,7,4)	NORM(7 0,7)	NORM(5 8,5,8)
23	NORM(3 4,3,4)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 0,7)	NORM(8 4,8,4)	NORM(8 8,8,8)	NORM(5 0,5)				

## Anexo 26: Tiempos de Ruta Variabilidad 15% EST. TRO. ACT

Vehi culo	Depos ito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	NORM(20,3)	NORM(2 0,3)	NORM(2 0,3)	NORM(2 0,3)	NORM(2 4,3,6)	NORM(2 0,3)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 0,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 2,12,3)
2	NORM(38,5,7)	NORM(7 0,10,5)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 0,3)	NORM(2 0,3)	NORM(2 0,3)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 4,3,6)
3	NORM(30,4,5)	NORM(2 6,3,9)	NORM(2 0,3)	NORM(2 6,3,9)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 6,3,9)	NORM(4 6,6,9)	NORM(3 2,4,8)	NORM(2 4,3,6)	NORM(6 0,9)
4	NORM(32,4,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(3 4,5,1)	NORM(2 4,3,6)	NORM(6 6,9,9)
5	NORM(34,5,1)	NORM(7 0,10,5)	NORM(2 2,3,3)	NORM(4 0,6)	NORM(5 0,7,5)	NORM(9 0,13,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 6,3,9)	NORM(8 6,12,9)
6	NORM(34,5,1)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(3 4,5,1)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 0,3)	NORM(5 6,8,4)	NORM(3 8,5,7)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 8,13,2)
7	NORM(34,5,1)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(6 4,9,6)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(1 00,15)
8	NORM(40,6)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 4,11,1)	NORM(4 2,6,3)
9	NORM(44,6,6)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 6,11,4)	NORM(8 0,12)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 6,11,4)	NORM(8 0,12)	NORM(9 6,14,4)	
10	NORM(44,6,6)	NORM(7 0,10,5)	NORM(4 6,6,9)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 0,3)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 0,3)	NORM(3 0,4,5)	NORM(2 0,3)	NORM(7 0,10,5)
11	NORM(44,6,6)	NORM(8 8,13,2)	NORM(7 0,10,5)	NORM(4 4,6,6)	NORM(2 0,3)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(3 9,5,85)
12	NORM(40,6)	NORM(2 8,4,2)	NORM(4 0,6)	NORM(2 0,3)	NORM(3 6,5,4)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 6,11,4)	NORM(7 8,11,7)
13	NORM(40,6)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(4 8,7,2)
14	NORM(42,6,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(8 6,12,9)
15	NORM(50,7,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(6 4,9,6)
16	NORM(46,6,9)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(5 8,8,7)
17	NORM(54,8,1)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 6,11,4)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 8,11,7)	NORM(9 0,13,5)		
18	NORM(20,3)	NORM(3 0,4,5)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 4,3,6)	NORM(2 0,3)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 0,3)	NORM(2 2,6,3)	NORM(2 8,4,2)	NORM(2 2,3,3)
19	NORM(22,3,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(2 4,3,6)	NORM(2 6,3,9)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 0,3)	NORM(2 4,3,6)	NORM(2 2,3,3)	NORM(7 8,11,7)	NORM(3 4,5,1)
20	NORM(50,7,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(4 8,7,2)	NORM(4 4,6,6)	NORM(3 8,5,7)	NORM(3 2,4,8)	NORM(3 4,5,1)	NORM(2 2,3,3)	NORM(4 0,6)	NORM(6 4,9,6)
21	NORM(22,3,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(6 8,10,2)
22	NORM(26,3,9)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 0,10,5)	NORM(5 8,8,7)
23	NORM(34,5,1)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 8,13,2)	NORM(5 0,7,5)				

## Anexo 27: Rutas EST. NO. ACT

Vehi culo	Depo sito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	Depo sito1	client e_1	cliente _2	cliente _3	cliente _31	cliente _32	cliente _33	cliente _34	cliente _35	cliente _36	cliente _37
2	Depo sito1	client e_4	cliente _5	cliente _6	cliente _7	cliente _38	cliente _39	cliente _40	cliente _54	cliente _55	cliente _56
3	Depo sito1	client e_8	cliente _9	cliente _41	cliente _42	cliente _43	cliente _44	cliente _45	cliente _57	cliente _58	cliente _59
4	Depo sito1	client e_10	cliente _11	cliente _12	cliente _13	cliente _60	cliente _61	cliente _62	cliente _63	cliente _64	cliente _65
5	Depo sito1	client e_14	cliente _15	cliente _46	cliente _47	cliente _48	cliente _49	cliente _50	cliente _51	cliente _52	cliente _53
6	Depo sito1	client e_16	cliente _17	cliente _18	cliente _67	cliente _76	cliente _77	cliente _78	cliente _79	cliente _80	cliente _81
7	Depo sito1	client e_19	cliente _20	cliente _68	cliente _69	cliente _70	cliente _71	cliente _72	cliente _73	cliente _74	cliente _75
8	Depo sito1	client e_21	cliente _22	cliente _23	cliente _24	cliente _110	cliente _111	cliente _112	cliente _113	cliente _114	cliente _115
9	Depo sito2	client e_25	cliente _26	cliente _27	cliente _116	cliente _117	cliente _118	cliente _119	cliente _120	cliente _121	cliente _122
10	Depo sito2	client e_28	cliente _29	cliente _30	cliente _123	cliente _124	cliente _125	cliente _126	cliente _127	cliente _128	cliente _129
11	Depo sito2	client e_82	cliente _92	cliente _102	cliente _103	cliente _104	cliente _105	cliente _106	cliente _107	cliente _108	cliente _109
12	Depo sito2	client e_83	cliente _93	cliente _130	cliente _131	cliente _132	cliente _133	cliente _134	cliente _135	cliente _136	cliente _137
13	Depo sito2	client e_84	cliente _94	cliente _138	cliente _146	cliente _154	cliente _162	cliente _170	cliente _171	cliente _172	cliente _173
14	Depo sito2	client e_85	cliente _95	cliente _139	cliente _147	cliente _155	cliente _163	cliente _174	cliente _199	cliente _200	cliente _66
15	Depo sito2	client e_86	cliente _96	cliente _140	cliente _148	cliente _156	cliente _164	cliente _175	cliente _196	cliente _197	cliente _198
16	Depo sito3	client e_87	cliente _97	cliente _141	cliente _149	cliente _157	cliente _165	cliente _176	cliente _193	cliente _194	cliente _195
17	Depo sito3	client e_88	cliente _98	cliente _142	cliente _150	cliente _158	cliente _166	cliente _177	cliente _190	cliente _191	cliente _192
18	Depo sito3	client e_89	cliente _99	cliente _143	cliente _151	cliente _159	cliente _167	cliente _178	cliente _187	cliente _188	cliente _189
19	Depo sito3	client e_90	cliente _100	cliente _144	cliente _152	cliente _160	cliente _168	cliente _179	cliente _184	cliente _185	cliente _186
20	Depo sito3	client e_91	cliente _101	cliente _145	cliente _153	cliente _161	cliente _169	cliente _180	cliente _181	cliente _182	cliente _183
21	Depo sito1	client e_1	cliente _2	cliente _3	cliente _31	cliente _32	cliente _33	cliente _34	cliente _35	cliente _36	cliente _37
22	Depo sito1	client e_4	cliente _5	cliente _6	cliente _7	cliente _38	cliente _39	cliente _40	cliente _54	cliente _55	cliente _56
23	Depo sito1	client e_8	cliente _9	cliente _41	cliente _42	cliente _43	cliente _44	cliente _45	cliente _57	cliente _58	cliente _59

## Anexo 28: Tiempos de Ruta Variabilidad 5% EST. NO. ACT

Vehi culo	Depo sito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	NORM(50,2,5)	NORM(52,2,6)	NORM(36,1,8)	NORM(88,4,4)	NORM(66,3,3)	NORM(44,2,2)	NORM(20,1)	NORM(86,4,3)	NORM(40,2)	NORM(56,2,8)	NORM(58,2,9)
2	NORM(88,4,4)	NORM(48,2,4)	NORM(74,3,7)	NORM(66,3,3)	NORM(70,3,5)	NORM(56,2,8)	NORM(30,1,5)	NORM(90,4,5)	NORM(86,4,3)	NORM(86,4,3)	NORM(38,1,9)
3	NORM(100,5)	NORM(44,2,2)	NORM(84,4,2)	NORM(86,4,3)	NORM(22,1,1)	NORM(76,3,8)	NORM(26,1,3)	NORM(88,4,4)	NORM(80,4)	NORM(72,3,6)	NORM(34,1,7)
4	NORM(54,2,7)	NORM(56,2,8)	NORM(54,2,7)	NORM(50,2,5)	NORM(70,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(82,4,1)	NORM(72,3,6)	NORM(78,3,9)	NORM(74,3,7)	NORM(100,5)
5	NORM(36,1,8)	NORM(34,1,7)	NORM(88,4,4)	NORM(86,4,3)	NORM(36,1,8)	NORM(52,2,6)	NORM(80,4)	NORM(84,4,2)	NORM(76,3,8)	NORM(90,4,5)	NORM(86,4,3)
6	NORM(92,4,6)	NORM(64,3,2)	NORM(26,1,3)	NORM(84,4,2)	NORM(76,3,8)	NORM(80,4)	NORM(72,3,6)	NORM(84,4,2)	NORM(80,4)	NORM(72,3,6)	NORM(40,2)
7	NORM(32,1,6)	NORM(90,4,5)	NORM(74,3,7)	NORM(74,3,7)	NORM(70,3,5)	NORM(76,3,8)	NORM(80,4)	NORM(88,4,4)	NORM(80,4)	NORM(80,4)	NORM(32,1,6)
8	NORM(26,1,3)	NORM(68,3,4)	NORM(86,4,3)	NORM(60,3)	NORM(76,3,8)	NORM(76,3,8)	NORM(86,4,3)	NORM(72,3,6)	NORM(90,4,5)	NORM(78,3,9)	NORM(50,2,5)
9	NORM(66,3,3)	NORM(84,4,2)	NORM(80,4)	NORM(72,3,6)	NORM(86,4,3)	NORM(74,3,7)	NORM(74,3,7)	NORM(88,4,4)	NORM(76,3,8)	NORM(74,3,7)	NORM(46,2,3)
10	NORM(88,4,4)	NORM(54,2,7)	NORM(82,4,1)	NORM(84,4,2)	NORM(74,3,7)	NORM(82,4,1)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(84,4,2)	NORM(88,4,4)	NORM(58,2,9)
11	NORM(68,3,4)	NORM(88,4,4)	NORM(70,3,5)	NORM(86,4,3)	NORM(90,4,5)	NORM(84,4,2)	NORM(76,3,8)	NORM(84,4,2)	NORM(70,3,5)	NORM(78,3,9)	NORM(54,2,7)
12	NORM(74,3,7)	NORM(84,4,2)	NORM(74,3,7)	NORM(80,4)	NORM(82,4,1)	NORM(82,4,1)	NORM(74,3,7)	NORM(72,3,6)	NORM(72,3,6)	NORM(74,3,7)	NORM(48,2,4)
13	NORM(54,2,7)	NORM(74,3,7)	NORM(72,3,6)	NORM(84,4,2)	NORM(84,4,2)	NORM(86,4,3)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(74,3,7)	NORM(84,4,2)	NORM(68,3,4)
14	NORM(58,2,9)	NORM(78,3,9)	NORM(90,4,5)	NORM(88,4,4)	NORM(78,3,9)	NORM(80,4)	NORM(90,4,5)	NORM(80,4)	NORM(80,4)	NORM(78,3,9)	NORM(64,3,2)
15	NORM(42,2,1)	NORM(74,3,7)	NORM(82,4,1)	NORM(72,3,6)	NORM(78,3,9)	NORM(88,4,4)	NORM(78,3,9)	NORM(78,3,9)	NORM(72,3,6)	NORM(90,4,5)	NORM(64,3,2)
16	NORM(46,2,3)	NORM(86,4,3)	NORM(90,4,5)	NORM(82,4,1)	NORM(84,4,2)	NORM(74,3,7)	NORM(70,3,5)	NORM(90,4,5)	NORM(74,3,7)	NORM(72,3,6)	NORM(32,1,6)
17	NORM(36,1,8)	NORM(74,3,7)	NORM(74,3,7)	NORM(84,4,2)	NORM(86,4,3)	NORM(90,4,5)	NORM(88,4,4)	NORM(78,3,9)	NORM(,0)	NORM(78,3,9)	NORM(40,2)
18	NORM(48,2,4)	NORM(76,3,8)	NORM(88,4,4)	NORM(88,4,4)	NORM(70,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(80,4)	NORM(90,4,5)	NORM(84,4,2)	NORM(80,4)	NORM(26,1,3)
19	NORM(64,3,2)	NORM(72,3,6)	NORM(80,4)	NORM(82,4,1)	NORM(82,4,1)	NORM(80,4)	NORM(84,4,2)	NORM(80,4)	NORM(74,3,7)	NORM(70,3,5)	NORM(36,1,8)
20	NORM(30,1,5)	NORM(72,3,6)	NORM(80,4)	NORM(76,3,8)	NORM(88,4,4)	NORM(76,3,8)	NORM(90,4,5)	NORM(72,3,6)	NORM(76,3,8)	NORM(72,3,6)	NORM(20,1)
21	NORM(50,2,5)	NORM(52,2,6)	NORM(36,1,8)	NORM(88,4,4)	NORM(66,3,3)	NORM(44,2,2)	NORM(20,1)	NORM(86,4,3)	NORM(40,2)	NORM(56,2,8)	NORM(58,2,9)
22	NORM(88,4,4)	NORM(48,2,4)	NORM(74,3,7)	NORM(66,3,3)	NORM(70,3,5)	NORM(56,2,8)	NORM(30,1,5)	NORM(90,4,5)	NORM(86,4,3)	NORM(86,4,3)	NORM(38,1,9)
23	NORM(100,5)	NORM(44,2,2)	NORM(84,4,2)	NORM(86,4,3)	NORM(22,1,1)	NORM(76,3,8)	NORM(26,1,3)	NORM(88,4,4)	NORM(80,4)	NORM(72,3,6)	NORM(34,1,7)



## Anexo 29: Tiempos de Ruta Variabilidad 10% EST. NO. ACT

Vehi culo	Depos ito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	NORM(50,5)	NORM(52,5,2)	NORM(36,3,6)	NORM(88,8,8)	NORM(66,6,6)	NORM(44,4,4)	NORM(20,2)	NORM(86,8,6)	NORM(40,4)	NORM(56,5,6)	NORM(58,5,8)
2	NORM(88,8,8)	NORM(48,4,8)	NORM(74,7,4)	NORM(66,6,6)	NORM(70,7)	NORM(56,5,6)	NORM(30,3)	NORM(90,9)	NORM(86,8,6)	NORM(86,8,6)	NORM(38,3,8)
3	NORM(100,10)	NORM(44,4,4)	NORM(84,8,4)	NORM(86,8,6)	NORM(22,2,2)	NORM(76,7,6)	NORM(26,2,6)	NORM(88,8,8)	NORM(80,8)	NORM(72,7,2)	NORM(34,3,4)
4	NORM(54,5,4)	NORM(56,5,6)	NORM(54,5,4)	NORM(50,5)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(82,8,2)	NORM(72,7,2)	NORM(78,7,8)	NORM(74,7,4)	NORM(100,10)
5	NORM(36,3,6)	NORM(34,3,4)	NORM(88,8,8)	NORM(86,8,6)	NORM(36,3,6)	NORM(52,5,2)	NORM(80,8)	NORM(84,8,4)	NORM(76,7,6)	NORM(90,9)	NORM(86,8,6)
6	NORM(92,9,2)	NORM(64,6,4)	NORM(26,2,6)	NORM(84,8,4)	NORM(76,7,6)	NORM(80,8)	NORM(72,7,2)	NORM(84,8,4)	NORM(80,8)	NORM(72,7,2)	NORM(40,4)
7	NORM(32,3,2)	NORM(90,9)	NORM(74,7,4)	NORM(74,7,4)	NORM(70,7)	NORM(76,7,6)	NORM(80,8)	NORM(88,8,8)	NORM(80,8)	NORM(80,8)	NORM(32,3,2)
8	NORM(26,2,6)	NORM(68,6,8)	NORM(86,8,6)	NORM(60,6)	NORM(76,7,6)	NORM(76,7,6)	NORM(86,8,6)	NORM(72,7,2)	NORM(90,9)	NORM(78,7,8)	NORM(50,5)
9	NORM(66,6,6)	NORM(84,8,4)	NORM(80,8)	NORM(72,7,2)	NORM(86,8,6)	NORM(74,7,4)	NORM(74,7,4)	NORM(88,8,8)	NORM(76,7,6)	NORM(74,7,4)	NORM(46,4,6)
10	NORM(88,8,8)	NORM(54,5,4)	NORM(82,8,2)	NORM(84,8,4)	NORM(74,7,4)	NORM(82,8,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(84,8,4)	NORM(88,8,8)	NORM(58,5,8)
11	NORM(68,6,8)	NORM(88,8,8)	NORM(70,7)	NORM(86,8,6)	NORM(90,9)	NORM(84,8,4)	NORM(76,7,6)	NORM(84,8,4)	NORM(70,7)	NORM(78,7,8)	NORM(54,5,4)
12	NORM(74,7,4)	NORM(84,8,4)	NORM(74,7,4)	NORM(80,8)	NORM(82,8,2)	NORM(82,8,2)	NORM(74,7,4)	NORM(72,7,2)	NORM(72,7,2)	NORM(74,7,4)	NORM(48,4,8)
13	NORM(54,5,4)	NORM(74,7,4)	NORM(72,7,2)	NORM(84,8,4)	NORM(84,8,4)	NORM(86,8,6)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(74,7,4)	NORM(84,8,4)	NORM(68,6,8)
14	NORM(58,5,8)	NORM(78,7,8)	NORM(90,9)	NORM(88,8,8)	NORM(78,7,8)	NORM(80,8)	NORM(90,9)	NORM(80,8)	NORM(80,8)	NORM(78,7,8)	NORM(64,6,4)
15	NORM(42,4,2)	NORM(74,7,4)	NORM(82,8,2)	NORM(72,7,2)	NORM(78,7,8)	NORM(88,8,8)	NORM(78,7,8)	NORM(78,7,8)	NORM(72,7,2)	NORM(90,9)	NORM(64,6,4)
16	NORM(46,4,6)	NORM(86,8,6)	NORM(90,9)	NORM(82,8,2)	NORM(84,8,4)	NORM(74,7,4)	NORM(70,7)	NORM(90,9)	NORM(74,7,4)	NORM(72,7,2)	NORM(32,3,2)
17	NORM(36,3,6)	NORM(74,7,4)	NORM(74,7,4)	NORM(84,8,4)	NORM(86,8,6)	NORM(90,9)	NORM(88,8,8)	NORM(78,7,8)	NORM(,0)	NORM(78,7,8)	NORM(40,4)
18	NORM(48,4,8)	NORM(76,7,6)	NORM(88,8,8)	NORM(88,8,8)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(80,8)	NORM(90,9)	NORM(84,8,4)	NORM(80,8)	NORM(26,2,6)
19	NORM(64,6,4)	NORM(72,7,2)	NORM(80,8)	NORM(82,8,2)	NORM(82,8,2)	NORM(80,8)	NORM(84,8,4)	NORM(80,8)	NORM(74,7,4)	NORM(70,7)	NORM(36,3,6)
20	NORM(30,3)	NORM(72,7,2)	NORM(80,8)	NORM(76,7,6)	NORM(88,8,8)	NORM(76,7,6)	NORM(90,9)	NORM(72,7,2)	NORM(76,7,6)	NORM(72,7,2)	NORM(20,2)
21	NORM(50,5)	NORM(52,5,2)	NORM(36,3,6)	NORM(88,8,8)	NORM(66,6,6)	NORM(44,4,4)	NORM(20,2)	NORM(86,8,6)	NORM(40,4)	NORM(56,5,6)	NORM(58,5,8)
22	NORM(88,8,8)	NORM(48,4,8)	NORM(74,7,4)	NORM(66,6,6)	NORM(70,7)	NORM(56,5,6)	NORM(30,3)	NORM(90,9)	NORM(86,8,6)	NORM(86,8,6)	NORM(38,3,8)
23	NORM(100,10)	NORM(44,4,4)	NORM(84,8,4)	NORM(86,8,6)	NORM(22,2,2)	NORM(76,7,6)	NORM(26,2,6)	NORM(88,8,8)	NORM(80,8)	NORM(72,7,2)	NORM(34,3,4)

### Anexo 30: Tiempos de Ruta Variabilidad 15% EST. NO. ACT

Vehículo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	NORM(50,7,5)	NORM(52,7,8)	NORM(36,5,4)	NORM(88,13,2)	NORM(66,9,9)	NORM(44,6,6)	NORM(20,3)	NORM(86,12,9)	NORM(40,6)	NORM(56,8,4)	NORM(58,8,7)
	NORM(88,13,2)	NORM(48,7,2)	NORM(74,11,1)	NORM(66,9,9)	NORM(70,10,5)	NORM(56,8,4)	NORM(30,4,5)	NORM(90,13,5)	NORM(86,12,9)	NORM(86,12,9)	NORM(38,5,7)
2	NORM(100,15)	NORM(44,6,6)	NORM(84,12,6)	NORM(86,12,9)	NORM(22,3,3)	NORM(76,11,4)	NORM(26,3,9)	NORM(88,13,2)	NORM(80,12)	NORM(72,10,8)	NORM(34,5,1)
	NORM(54,8,1)	NORM(56,8,4)	NORM(54,8,1)	NORM(50,7,5)	NORM(70,10,5)	NORM(72,10,8)	NORM(82,12,3)	NORM(72,10,8)	NORM(78,11,7)	NORM(74,11,1)	NORM(100,15)
3	NORM(36,5,4)	NORM(34,5,1)	NORM(88,13,2)	NORM(86,12,9)	NORM(36,5,4)	NORM(52,7,8)	NORM(80,12)	NORM(84,12,6)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(86,12,9)
	NORM(92,13,8)	NORM(64,9,6)	NORM(26,3,9)	NORM(84,12,6)	NORM(76,11,4)	NORM(80,12)	NORM(72,10,8)	NORM(84,12,6)	NORM(80,12)	NORM(72,10,8)	NORM(40,6)
4	NORM(32,4,8)	NORM(90,13,5)	NORM(74,11,1)	NORM(74,11,1)	NORM(70,10,5)	NORM(76,11,4)	NORM(80,12)	NORM(88,13,2)	NORM(80,12)	NORM(80,12)	NORM(32,4,8)
	NORM(26,3,9)	NORM(68,10,2)	NORM(86,12,9)	NORM(60,9)	NORM(76,11,4)	NORM(76,11,4)	NORM(86,12,9)	NORM(72,10,8)	NORM(90,13,5)	NORM(78,11,7)	NORM(50,7,5)
5	NORM(66,9,9)	NORM(84,12,6)	NORM(80,12)	NORM(72,10,8)	NORM(86,12,9)	NORM(74,11,1)	NORM(74,11,1)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(74,11,1)	NORM(46,6,9)
	NORM(88,13,2)	NORM(54,8,1)	NORM(82,12,3)	NORM(84,12,6)	NORM(74,11,1)	NORM(82,12,3)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(84,12,6)	NORM(88,13,2)	NORM(58,8,7)
6	NORM(68,10,2)	NORM(88,13,2)	NORM(70,10,5)	NORM(86,12,9)	NORM(90,13,5)	NORM(84,12,6)	NORM(76,11,4)	NORM(84,12,6)	NORM(70,10,5)	NORM(78,11,7)	NORM(54,8,1)
	NORM(74,11,1)	NORM(84,12,6)	NORM(74,11,1)	NORM(80,12)	NORM(82,12,3)	NORM(82,12,3)	NORM(74,11,1)	NORM(72,10,8)	NORM(72,10,8)	NORM(74,11,1)	NORM(48,7,2)
7	NORM(54,8,1)	NORM(74,11,1)	NORM(72,10,8)	NORM(84,12,6)	NORM(84,12,6)	NORM(86,12,9)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(74,11,1)	NORM(84,12,6)	NORM(68,10,2)
	NORM(58,8,7)	NORM(78,11,7)	NORM(90,13,5)	NORM(88,13,2)	NORM(78,11,7)	NORM(80,12)	NORM(90,13,5)	NORM(80,12)	NORM(80,12)	NORM(78,11,7)	NORM(64,9,6)
8	NORM(42,6,3)	NORM(74,11,1)	NORM(82,12,3)	NORM(72,10,8)	NORM(78,11,7)	NORM(88,13,2)	NORM(78,11,7)	NORM(78,11,7)	NORM(72,10,8)	NORM(90,13,5)	NORM(64,9,6)
	NORM(46,6,9)	NORM(86,12,9)	NORM(90,13,5)	NORM(82,12,3)	NORM(84,12,6)	NORM(74,11,1)	NORM(70,10,5)	NORM(90,13,5)	NORM(74,11,1)	NORM(72,10,8)	NORM(32,4,8)
9	NORM(36,5,4)	NORM(74,11,1)	NORM(74,11,1)	NORM(84,12,6)	NORM(86,12,9)	NORM(90,13,5)	NORM(88,13,2)	NORM(78,11,7)	NORM(,0)	NORM(78,11,7)	NORM(40,6)
	NORM(48,7,2)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(88,13,2)	NORM(70,10,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(90,13,5)	NORM(84,12,6)	NORM(80,12)	NORM(26,3,9)
10	NORM(64,9,6)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(82,12,3)	NORM(82,12,3)	NORM(80,12)	NORM(84,12,6)	NORM(80,12)	NORM(74,11,1)	NORM(70,10,5)	NORM(36,5,4)
	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
11	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
12	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
13	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
14	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
15	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
16	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
17	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
18	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
19	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
20	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)
	NORM(30,4,5)	NORM(72,10,8)	NORM(80,12)	NORM(76,11,4)	NORM(88,13,2)	NORM(76,11,4)	NORM(90,13,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(72,10,8)	NORM(20,3)

<b>21</b>	NORM(50,7,5)	NORM(52,7,8)	NORM(36,5,4)	NORM(88,13,2)	NORM(66,9,9)	NORM(44,6,6)	NORM(20,3)	NORM(86,12,9)	NORM(40,6)	NORM(56,8,4)	NORM(58,8,7)
<b>22</b>	NORM(88,13,2)	NORM(48,7,2)	NORM(74,11,1)	NORM(66,9,9)	NORM(70,10,5)	NORM(56,8,4)	NORM(30,4,5)	NORM(90,13,5)	NORM(86,12,9)	NORM(86,12,9)	NORM(38,5,7)
<b>23</b>	NORM(100,15)	NORM(44,6,6)	NORM(84,12,6)	NORM(86,12,9)	NORM(22,3,3)	NORM(76,11,4)	NORM(26,3,9)	NORM(88,13,2)	NORM(80,12)	NORM(72,10,8)	NORM(34,5,1)

### Anexo 31: Rutas EST. DEO. MD

Vehi culo	Depos ito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
<b>1</b>	Depos ito1	cliente _136	cliente _67	cliente _9	cliente _165	cliente _75	cliente _28	cliente _63	cliente _96	cliente _113
<b>2</b>	Depos ito1	cliente _115	cliente _120	cliente _17	cliente _58	cliente _180	cliente _50	cliente _19	cliente _142	cliente _2
<b>3</b>	Depos ito1	cliente _1	cliente _81	cliente _191	cliente _111	cliente _73	cliente _100	cliente _44	cliente _97	cliente _166
<b>4</b>	Depos ito1	cliente _46	cliente _112	cliente _55	cliente _129	cliente _130	cliente _188	cliente _118	cliente _22	cliente _137
<b>5</b>	Depos ito1	cliente _133	cliente _41	cliente _45	cliente _77	cliente _20	cliente _190	cliente _101	cliente _198	cliente _105
<b>6</b>	Depos ito1	cliente _143	cliente _148	cliente _123	cliente _59	cliente _175				
<b>7</b>	Depos ito2	cliente _187	cliente _65	cliente _34	cliente _153	cliente _88	cliente _184	cliente _135	cliente _47	cliente _95
<b>8</b>	Depos ito2	cliente _156	cliente _23	cliente _158	cliente _110	cliente _144	cliente _155	cliente _6	cliente _108	cliente _154
<b>9</b>	Depos ito2	cliente _152	cliente _122	cliente _84	cliente _10	cliente _104	cliente _78	cliente _193	cliente _126	cliente _79
<b>10</b>	Depos ito2	cliente _93	cliente _8	cliente _37	cliente _121	cliente _61	cliente _159	cliente _90	cliente _114	cliente _157
<b>11</b>	Depos ito3	cliente _27	cliente _3	cliente _124	cliente _49	cliente _68	cliente _127	cliente _147	cliente _16	cliente _141
<b>12</b>	Depos ito3	cliente _15	cliente _31	cliente _119	cliente _82	cliente _85	cliente _189	cliente _186	cliente _199	cliente _38
<b>13</b>	Depos ito3	cliente _91	cliente _70	cliente _42	cliente _54	cliente _86	cliente _4	cliente _62	cliente _164	cliente _181
<b>14</b>	Depos ito3	cliente _48	cliente _40	cliente _195	cliente _99	cliente _200	cliente _183	cliente _74	cliente _197	cliente _196
<b>15</b>	Depos ito3	cliente _56	cliente _150	cliente _76	cliente _94	cliente _87	cliente _71	cliente _146	cliente _52	cliente _103
<b>16</b>	Depos ito3	cliente _57	cliente _92	cliente _24	cliente _116	cliente _131	cliente _134	cliente _26	cliente _89	cliente _30
<b>17</b>	Depos ito3	cliente _5	cliente _109	cliente _13	cliente _25	cliente _53	cliente _102	cliente _12	cliente _14	cliente _138
<b>18</b>	Depos ito3	cliente _21	cliente _72	cliente _7	cliente _36	cliente _149	cliente _162	cliente _161	cliente _173	cliente _177

19	Deposito3	cliente_170	cliente_178	cliente_182	cliente_163	cliente_160	cliente_176	cliente_169	cliente_107	cliente_140
20	Deposito3	cliente_185	cliente_106	cliente_32	cliente_128	cliente_145	cliente_64	cliente_139	cliente_167	cliente_11
21	Deposito3	cliente_98	cliente_33	cliente_83	cliente_80	cliente_60	cliente_66	cliente_29	cliente_39	cliente_69
22	Deposito3	cliente_171	cliente_18	cliente_168	cliente_151	cliente_132	cliente_172	cliente_174	cliente_51	cliente_117
23	Deposito3	cliente_192	cliente_194	cliente_179	cliente_35	cliente_125				

### Anexo 32: Tiempos de Ruta Variabilidad 5% EST. DEO. MD

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	NORM(2 8,1,4)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 0,4)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 0,4)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 4,3,7)	NORM(3 4,1,7)
2	NORM(5 0,2,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(8 4,4,2)	NORM(9 0,4,5)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 4,3,7)	NORM(9 0,4,5)	NORM(7 6,3,8)	NORM(2 0,1)
3	NORM(5 0,2,5)	NORM(4 6,2,3)	NORM(8 4,4,2)	NORM(3 6,1,8)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 6,4,3)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 8,4,4)	NORM(7 2,3,6)	NORM(2 0,1)
4	NORM(4 2,2,1)	NORM(8 6,4,3)	NORM(8 2,4,1)	NORM(8 6,4,3)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 8,4,4)	NORM(6 6,3,3)	NORM(8 0,4)	NORM(8 2,4,1)	NORM(2 2,1,1)
5	NORM(2 2,1,1)	NORM(8 0,4)	NORM(5 8,2,9)	NORM(9 0,4,5)	NORM(8 6,4,3)	NORM(3 8,1,9)	NORM(5 8,2,9)	NORM(6 8,3,4)	NORM(2 6,1,3)	NORM(3 0,1,5)
6	NORM(3 0,1,5)	NORM(7 8,3,9)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 8,4,4)					
7	NORM(4 4,2,2)	NORM(3 2,1,6)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 6,3,8)	NORM(5 2,2,6)	NORM(3 6,1,8)	NORM(7 6,3,8)	NORM(7 6,3,8)	NORM(6 0,3)
8	NORM(6 2,3,1)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 8,3,9)	NORM(9 0,4,5)	NORM(7 8,3,9)	NORM(8 8,4,4)	NORM(7 6,3,8)	NORM(8 6,4,3)	NORM(9 0,4,5)	NORM(2 8,1,4)
9	NORM(6 6,3,3)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 0,4)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 8,3,9)	NORM(8 2,4,1)	NORM(9 0,4,5)	NORM(6 6,3,3)	NORM(7 4,3,7)	NORM(4 2,2,1)
10	NORM(4 4,2,2)	NORM(3 2,1,6)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 6,3,8)	NORM(5 2,2,6)	NORM(3 6,1,8)	NORM(7 6,3,8)	NORM(7 6,3,8)	NORM(6 0,3)
11	NORM(5 8,2,9)	NORM(8 0,4)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 6,3,8)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 2,3,6)	NORM(8 0,4)	NORM(7 2,3,6)	NORM(8 8,4,4)	
12	NORM(3 2,1,6)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 6,4,3)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 0,4)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 6,4,3)
13	NORM(2 2,1,1)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 2,4,1)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 0,4)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 8,3,9)	NORM(6 8,3,4)	NORM(4 8,2,4)
14	NORM(3 0,1,5)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 0,4)	NORM(7 6,3,8)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 0,4)	NORM(8 2,4,1)	NORM(8 0,4)	NORM(2 2,1,1)
15	NORM(2 4,1,2)	NORM(8 0,4)	NORM(6 2,3,1)	NORM(6 6,3,3)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 0,3,5)	NORM(5 6,2,8)	NORM(3 0,1,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(3 6,1,8)
16	NORM(2 4,1,2)	NORM(7 8,3,9)	NORM(8 2,4,1)	NORM(9 0,4,5)	NORM(7 6,3,8)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 2,3,6)	NORM(5 2,2,6)
17	NORM(2 4,1,2)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 2,4,1)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 8,4,4)	NORM(3 6,1,8)
18	NORM(2 4,1,2)	NORM(8 6,4,3)	NORM(8 8,4,4)	NORM(7 4,3,7)	NORM(9 0,4,5)	NORM(7 6,3,8)	NORM(9 0,4,5)	NORM(3 2,1,6)	NORM(9 0,4,5)	NORM(5 8,2,9)
19	NORM(2 0,1)	NORM(7 8,3,9)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 6,3,8)	NORM(7 4,3,7)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 8,4,4)	NORM(7 0,3,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(2 2,1,1)
20	NORM(4 0,2)	NORM(8 8,4,4)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 6,4,3)	NORM(8 8,3,9)	NORM(8 0,4)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 4,4,2)	NORM(7 0,3,5)	NORM(6 6,3,3)
21	NORM(4 2,2,1)	NORM(8 0,4)	NORM(8 2,4,1)	NORM(8 0,4)	NORM(8 4,4,2)	NORM(8 8,4,4)	NORM(7 0,3,5)	NORM(8 8,4,4)	NORM(8 0,4)	NORM(3 4,1,7)
22	NORM(3 0,1,5)	NORM(7 2,3,6)	NORM(8 2,4,1)	NORM(8 2,4,1)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 4,3,7)	NORM(7 2,3,6)	NORM(3 8,1,9)	NORM(7 8,3,9)	NORM(2 0,1)
23	NORM(4 0,2)	NORM(7 2,3,6)	NORM(7 6,3,8)	NORM(7 2,3,6)	NORM(8 2,4,1)	NORM(4 2,2,1)				

### Anexo 33: Tiempos de Ruta Variabilidad 10% EST. DEO. MD

Vehi culo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	NORM(2 8,2,8)	NORM(7 4,7,4)	NORM(8 8,8,8)	NORM(8 0,8)	NORM(8 4,8,4)	NORM(8 4,8,4)	NORM(8 0,8)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 4,7,4)	NORM(3 4,3,4)
2	NORM(5 0,5)	NORM(7 2,7,2)	NORM(8 4,8,4)	NORM(9 0,9)	NORM(8 4,8,4)	NORM(7 0,7)	NORM(7 4,7,4)	NORM(9 0,9)	NORM(7 6,7,6)	NORM(2 0,2)
3	NORM(5 0,5)	NORM(4 6,4,6)	NORM(8 4,8,4)	NORM(3 6,3,6)	NORM(8 8,8,8)	NORM(8 6,8,6)	NORM(8 8,8,8)	NORM(8 8,8,8)	NORM(7 2,7,2)	NORM(2 0,2)
4	NORM(4 2,4,2)	NORM(8 6,8,6)	NORM(8 2,8,2)	NORM(8 6,8,6)	NORM(7 4,7,4)	NORM(8 8,8,8)	NORM(6 6,6,6)	NORM(8 0,8)	NORM(8 2,8,2)	NORM(2 2,2,2)
5	NORM(2 2,2,2)	NORM(8 0,8)	NORM(5 8,5,8)	NORM(9 0,9)	NORM(8 6,8,6)	NORM(3 8,3,8)	NORM(5 8,5,8)	NORM(6 8,6,8)	NORM(2 6,2,6)	NORM(3 0,3)
6	NORM(3 0,3)	NORM(7 8,7,8)	NORM(7 0,7)	NORM(8 4,8,4)	NORM(8 8,8,8)					
7	NORM(4 4,4,4)	NORM(3 2,3,2)	NORM(8 4,8,4)	NORM(8 2,8,2)	NORM(7 6,7,6)	NORM(5 2,5,2)	NORM(3 6,3,6)	NORM(7 6,7,6)	NORM(7 6,7,6)	NORM(6 0,6)
8	NORM(6 2,6,2)	NORM(7 4,7,4)	NORM(7 8,7,8)	NORM(9 0,9)	NORM(7 8,7,8)	NORM(8 8,8,8)	NORM(7 6,7,6)	NORM(8 6,8,6)	NORM(9 0,9)	NORM(2 8,2,8)
9	NORM(6 6,6,6)	NORM(7 4,7,4)	NORM(8 0,8)	NORM(8 2,8,2)	NORM(7 8,7,8)	NORM(8 2,8,2)	NORM(9 0,9)	NORM(6 6,6,6)	NORM(7 4,7,4)	NORM(4 2,4,2)
10	NORM(5 8,5,8)	NORM(8 0,8)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 6,7,6)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 2,7,2)	NORM(8 0,8)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 8,8,8)	
11	NORM(3 2,3,2)	NORM(8 8,8,8)	NORM(8 4,8,4)	NORM(8 6,8,6)	NORM(7 0,7)	NORM(7 0,7)	NORM(7 4,7,4)	NORM(8 0,8)	NORM(8 8,8,8)	NORM(8 6,8,6)
12	NORM(2 2,2,2)	NORM(7 4,7,4)	NORM(8 2,8,2)	NORM(8 4,8,4)	NORM(7 4,7,4)	NORM(8 0,8)	NORM(7 4,7,4)	NORM(7 8,7,8)	NORM(6 8,6,8)	NORM(4 8,4,8)
13	NORM(3 0,3)	NORM(8 8,8,8)	NORM(8 0,8)	NORM(7 6,7,6)	NORM(8 2,8,2)	NORM(7 0,7)	NORM(8 0,8)	NORM(8 2,8,2)	NORM(8 0,8)	NORM(2 2,2,2)
14	NORM(2 4,2,4)	NORM(8 0,8)	NORM(6 2,6,2)	NORM(6 6,6,6)	NORM(8 2,8,2)	NORM(7 0,7)	NORM(5 6,5,6)	NORM(3 0,3)	NORM(7 2,7,2)	NORM(3 6,3,6)
15	NORM(2 4,2,4)	NORM(7 8,7,8)	NORM(8 2,8,2)	NORM(9 0,9)	NORM(7 6,7,6)	NORM(8 4,8,4)	NORM(7 4,7,4)	NORM(8 2,8,2)	NORM(7 2,7,2)	NORM(5 2,5,2)
16	NORM(2 4,2,4)	NORM(7 0,7)	NORM(8 8,8,8)	NORM(8 2,8,2)	NORM(8 4,8,4)	NORM(8 2,8,2)	NORM(7 0,7)	NORM(8 8,8,8)	NORM(8 8,8,8)	NORM(3 6,3,6)
17	NORM(2 4,2,4)	NORM(8 6,8,6)	NORM(8 8,8,8)	NORM(7 4,7,4)	NORM(9 0,9)	NORM(7 6,7,6)	NORM(9 0,9)	NORM(3 2,3,2)	NORM(9 0,9)	NORM(5 8,5,8)
18	NORM(2 0,2)	NORM(7 8,7,8)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 6,7,6)	NORM(7 4,7,4)	NORM(8 8,8,8)	NORM(8 8,8,8)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(2 2,2,2)
19	NORM(4 0,4)	NORM(8 8,8,8)	NORM(7 0,7)	NORM(8 6,8,6)	NORM(7 8,7,8)	NORM(8 0,8)	NORM(8 8,8,8)	NORM(8 4,8,4)	NORM(7 0,7)	NORM(6 6,6,6)
20	NORM(4 2,4,2)	NORM(8 0,8)	NORM(8 2,8,2)	NORM(8 0,8)	NORM(8 4,8,4)	NORM(8 8,8,8)	NORM(7 0,7)	NORM(8 8,8,8)	NORM(8 0,8)	NORM(3 4,3,4)
21	NORM(3 0,3)	NORM(7 2,7,2)	NORM(8 2,8,2)	NORM(8 2,8,2)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 4,7,4)	NORM(7 2,7,2)	NORM(3 8,3,8)	NORM(7 8,7,8)	NORM(2 0,2)
22	NORM(6 2,6,2)	NORM(8 6,8,6)	NORM(7 0,7)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 0,7)	NORM(7 8,7,8)	NORM(7 4,7,4)	NORM(7 0,7)	NORM(7 4,7,4)	NORM(2 2,2,2)
23	NORM(4 0,4)	NORM(7 2,7,2)	NORM(7 6,7,6)	NORM(7 2,7,2)	NORM(8 2,8,2)	NORM(4 2,4,2)				

### Anexo 34: Tiempos de Ruta Variabilidad 15% EST. DEO. MD

Vehículo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9
1	NORM(28,4,2)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 0,12)	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 0,12)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 4,11,1)	NORM(3 4,5,1)
2	NORM(50,7,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(8 4,12,6)	NORM(9 0,13,5)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 4,11,1)	NORM(9 0,13,5)	NORM(7 6,11,4)	NORM(2 0,3)
3	NORM(50,7,5)	NORM(4 6,6,9)	NORM(8 4,12,6)	NORM(3 6,5,4)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 6,12,9)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 8,13,2)	NORM(7 2,10,8)	NORM(2 0,3)
4	NORM(42,6,3)	NORM(8 6,12,9)	NORM(8 2,12,3)	NORM(8 6,12,9)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 8,13,2)	NORM(6 6,9,9)	NORM(8 0,12)	NORM(8 2,12,3)	NORM(2 2,3,3)
5	NORM(22,3,3)	NORM(8 0,12)	NORM(5 8,8,7)	NORM(9 0,13,5)	NORM(8 6,12,9)	NORM(3 8,5,7)	NORM(5 8,8,7)	NORM(6 8,10,2)	NORM(2 6,3,9)	NORM(3 0,4,5)
6	NORM(30,4,5)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 8,13,2)					
7	NORM(44,6,6)	NORM(3 2,4,8)	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 6,11,4)	NORM(5 2,7,8)	NORM(3 6,5,4)	NORM(7 6,11,4)	NORM(7 6,11,4)	NORM(6 0,9)
8	NORM(62,9,3)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 8,11,7)	NORM(9 0,13,5)	NORM(7 8,11,7)	NORM(8 8,13,2)	NORM(7 6,11,4)	NORM(8 6,12,9)	NORM(9 0,13,5)	NORM(2 8,4,2)
9	NORM(66,9,9)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 0,12)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 8,11,7)	NORM(8 2,12,3)	NORM(9 0,13,5)	NORM(6 6,9,9)	NORM(7 4,11,1)	NORM(4 2,6,3)
10	NORM(58,8,7)	NORM(8 0,12)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 6,11,4)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 2,10,8)	NORM(8 0,12)	NORM(7 2,10,8)	NORM(8 8,13,2)	
11	NORM(32,4,8)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 6,12,9)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 0,12)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 6,12,9)
12	NORM(22,3,3)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 2,12,3)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 0,12)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 8,11,7)	NORM(6 8,10,2)	NORM(4 8,7,2)
13	NORM(30,4,5)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 0,12)	NORM(7 6,11,4)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 0,12)	NORM(8 2,12,3)	NORM(8 0,12)	NORM(2 2,3,3)
14	NORM(24,3,6)	NORM(8 0,12)	NORM(6 2,9,3)	NORM(6 6,9,9)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(5 6,8,4)	NORM(3 0,4,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(3 6,5,4)
15	NORM(24,3,6)	NORM(7 8,11,7)	NORM(8 2,12,3)	NORM(9 0,13,5)	NORM(7 6,11,4)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 2,10,8)	NORM(5 2,7,8)
16	NORM(24,3,6)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 2,12,3)	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 8,13,2)	NORM(3 6,5,4)
17	NORM(24,3,6)	NORM(8 6,12,9)	NORM(8 8,13,2)	NORM(7 4,11,1)	NORM(9 0,13,5)	NORM(7 6,11,4)	NORM(9 0,13,5)	NORM(3 2,4,8)	NORM(9 0,13,5)	NORM(5 8,8,7)
18	NORM(20,3)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 6,11,4)	NORM(7 4,11,1)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 8,13,2)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(2 2,3,3)
19	NORM(40,6)	NORM(8 8,13,2)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 6,12,9)	NORM(7 8,11,7)	NORM(8 0,12)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 4,12,6)	NORM(7 0,10,5)	NORM(6 6,9,9)
20	NORM(42,6,3)	NORM(8 0,12)	NORM(8 2,12,3)	NORM(8 0,12)	NORM(8 4,12,6)	NORM(8 8,13,2)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 8,13,2)	NORM(8 0,12)	NORM(3 4,5,1)
21	NORM(30,4,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(8 2,12,3)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 2,10,8)	NORM(3 8,5,7)	NORM(7 8,11,7)	NORM(2 0,3)
22	NORM(62,9,3)	NORM(8 6,12,9)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 4,11,1)	NORM(2 2,3,3)
23	NORM(40,6)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 6,11,4)	NORM(7 2,10,8)	NORM(8 2,12,3)	NORM(4 2,6,3)				

## Anexo 35: Rutas EST. MRO. MD

Vehiculo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	Deposito1	cliente_190	cliente_73	cliente_1	cliente_45	cliente_44	cliente_191	cliente_120	cliente_198	cliente_20	cliente_46
2	Deposito1	cliente_133	cliente_188	cliente_111	cliente_77	cliente_19	cliente_101	cliente_112	cliente_113	cliente_136	
3	Deposito1	cliente_2	cliente_17	cliente_9	cliente_58	cliente_22	cliente_28	cliente_63	cliente_105	cliente_96	
4	Deposito1	cliente_166	cliente_175	cliente_130	cliente_55	cliente_59	cliente_97	cliente_118	cliente_143	cliente_115	
5	Deposito1	cliente_41	cliente_50	cliente_129	cliente_142	cliente_123	cliente_148	cliente_81	cliente_137	cliente_180	
6	Deposito1	cliente_75	cliente_67	cliente_100	cliente_165						
7	Deposito2	cliente_78	cliente_184	cliente_23	cliente_47	cliente_37	cliente_84	cliente_187	cliente_122	cliente_193	
8	Deposito2	cliente_110	cliente_156	cliente_104	cliente_8	cliente_6	cliente_10	cliente_114	cliente_34	cliente_121	
9	Deposito2	cliente_126	cliente_88	cliente_93	cliente_144	cliente_95	cliente_155	cliente_65	cliente_158	cliente_157	
10	Deposito2	cliente_79	cliente_152	cliente_108	cliente_61	cliente_153	cliente_159	cliente_90	cliente_154	cliente_135	
11	Deposito3	cliente_182	cliente_134	cliente_145	cliente_183	cliente_70	cliente_186	cliente_139	cliente_199	cliente_69	
12	Deposito3	cliente_43	cliente_25	cliente_48	cliente_167	cliente_60	cliente_189	cliente_102	cliente_76	cliente_194	
13	Deposito3	cliente_53	cliente_197	cliente_92	cliente_181	cliente_80	cliente_185	cliente_132	cliente_195	cliente_56	
14	Deposito3	cliente_66	cliente_192	cliente_103	cliente_196	cliente_39	cliente_42	cliente_200	cliente_40	cliente_49	
15	Deposito3	cliente_26	cliente_109	cliente_21	cliente_36	cliente_38	cliente_32	cliente_27	cliente_29	cliente_31	
16	Deposito3	cliente_33	cliente_30	cliente_35	cliente_24	cliente_51	cliente_14	cliente_13	cliente_11	cliente_18	
17	Deposito3	cliente_5	cliente_15	cliente_3	cliente_7	cliente_16	cliente_4	cliente_12	cliente_171	cliente_62	
18	Deposito3	cliente_68	cliente_169	cliente_117	cliente_170	cliente_57	cliente_128	cliente_119	cliente_160	cliente_149	
19	Deposito3	cliente_162	cliente_176	cliente_107	cliente_124	cliente_83	cliente_91	cliente_52	cliente_151	cliente_150	
20	Deposito3	cliente_177	cliente_116	cliente_140	cliente_54	cliente_85	cliente_138	cliente_163	cliente_173	cliente_161	
21	Deposito3	cliente_174	cliente_98	cliente_178	cliente_141	cliente_172	cliente_131	cliente_164	cliente_168	cliente_82	
22	Deposito3	cliente_94	cliente_86	cliente_106	cliente_71	cliente_64	cliente_127	cliente_89	cliente_72	cliente_87	
23	Deposito3	cliente_146	cliente_147	cliente_74	cliente_179	cliente_125	cliente_99				

## Anexo 36: Tiempos de Ruta Variabilidad 5% EST. MRO. MD

Vehículo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	NORM(20,1)	ORM(40,4)	NORM(34,1,7)	NORM(20,1)	NORM(26,1,3)	NORM(30,1,5)	NORM(20,1)	NORM(34,1,7)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(42,2,1)
2	NORM(22,1,1)	ORM(48,4)	NORM(20,1)	NORM(88,4,4)	NORM(58,2,9)	NORM(2,1,1)	NORM(7,0,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(70,3,5)	NORM(28,1,4)	
3	NORM(20,1)	ORM(42,1)	NORM(46,2,3)	NORM(74,3,7)	NORM(72,3,6)	NORM(2,4,1,2)	NORM(8,0,4)	NORM(72,3,6)	NORM(70,3,5)	NORM(24,1,2)	
4	NORM(20,1)	ORM(72,6)	NORM(72,3,6)	NORM(72,3,6)	NORM(70,3,5)	NORM(7,6,3,8)	NORM(7,0,3,5)	NORM(76,3,8)	NORM(74,3,7)	NORM(50,2,5)	
5	NORM(24,1,2)	ORM(72,6)	NORM(72,3,6)	NORM(72,3,6)	NORM(82,4,1)	NORM(7,0,3,5)	NORM(7,2,3,6)	NORM(76,3,8)	NORM(78,3,9)	NORM(58,2,9)	
6	NORM(32,1,6)	ORM(80,6)	NORM(72,3,6)	NORM(84,4,2)	NORM(54,2,7)						
7	NORM(42,2,1)	ORM(20,1)	NORM(22,1,1)	NORM(30,1,5)	NORM(26,1,3)	NORM(8,0,4)	NORM(3,8,1,9)	NORM(22,1,1)	NORM(48,2,4)	NORM(52,2,6)	
8	NORM(40,2)	ORM(70,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(46,2,3)	NORM(5,4,2,7)	NORM(8,0,4)	NORM(72,3,6)	NORM(70,3,5)	NORM(54,2,7)	
9	NORM(40,2)	ORM(70,5)	NORM(70,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(70,3,5)	NORM(7,0,3,5)	NORM(7,2,3,6)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(45,2,25)	
10	NORM(42,2,1)	ORM(74,7)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(90,4,5)	NORM(7,8,3,9)	NORM(8,0,4)	NORM(74,3,7)	NORM(90,4,5)	NORM(42,2,1)	
11	NORM(20,1)	ORM(20,1)	NORM(88,4,4)	NORM(70,3,5)	NORM(48,2,4)	NORM(2,0,1)	NORM(2,0,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	
12	NORM(22,1,1)	ORM(20,1)	NORM(22,1,1)	NORM(88,4,4)	NORM(70,3,5)	NORM(2,0,1)	NORM(2,4,1,2)	NORM(88,4,4)	NORM(28,1,4)	NORM(28,1,4)	
13	NORM(20,1)	ORM(30,5)	NORM(20,1)	NORM(30,1,5)	NORM(20,1,1)	NORM(2,1,1)	NORM(2,0,1)	NORM(64,3,2)	NORM(20,1)	NORM(24,1,2)	
14	NORM(38,1,9)	ORM(24,2)	NORM(22,1,1)	NORM(64,3,2)	NORM(20,1)	NORM(2,4,1,2)	NORM(2,0,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(28,1,4)	
15	NORM(22,1,1)	ORM(74,7)	NORM(70,3,5)	NORM(22,1,1)	NORM(34,1,7)	NORM(2,4,1,2)	NORM(4,0,2)	NORM(28,1,4)	NORM(34,1,7)	NORM(42,2,1)	
16	NORM(22,1,1)	ORM(22,1)	NORM(36,1,8)	NORM(20,1)	NORM(70,3,5)	NORM(7,0,3,5)	NORM(2,4,1,2)	NORM(24,1,2)	NORM(32,1,6)	NORM(60,3)	
17	NORM(24,1,2)	ORM(26,3)	NORM(42,2,1)	NORM(30,1,5)	NORM(20,1)	NORM(6,0,3)	NORM(4,6,2,3)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(46,2,3)	
18	NORM(20,1)	ORM(70,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(7,0,3,5)	NORM(7,0,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(64,3,2)	
19	NORM(22,1,1)	ORM(70,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(7,0,3,5)	NORM(7,0,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(50,2,5)	
20	NORM(22,1,1)	ORM(70,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(7,0,3,5)	NORM(7,0,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(30,1,5)	
21	NORM(22,1,1)	ORM(72,6)	NORM(72,3,6)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(7,0,3,5)	NORM(7,0,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(28,1,4)	
22	NORM(30,1,5)	ORM(70,5)	NORM(74,3,7)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(7,6,3,8)	NORM(7,0,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(78,3,9)	NORM(46,2,3)	
23	NORM(30,1,5)	ORM(78,9)	NORM(78,3,9)	NORM(80,4)	NORM(70,3,5)	NORM(7,8,3,9)	NORM(4,4,2,2)				



### Anexo 37: Tiempos de Ruta Variabilidad 10% EST. MRO. MD

Vehículo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	NORM(20,2)	NORM(40,4)	NORM(34,3,4)	NORM(20,2)	NORM(26,2,6)	NORM(30,3)	NORM(20,2)	NORM(34,3,4)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(42,4,2)
2	NORM(22,2,2)	NORM(48,4,8)	NORM(20,2)	NORM(88,8,8)	NORM(58,5,8)	NORM(22,2,2)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(28,2,8)	
3	NORM(20,2)	NORM(42,4,2)	NORM(46,4,6)	NORM(74,7,4)	NORM(72,7,2)	NORM(24,2,4)	NORM(80,8)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(24,2,4)	
4	NORM(20,2)	NORM(72,7,2)	NORM(72,7,2)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(76,7,6)	NORM(70,7)	NORM(76,7,6)	NORM(74,7,4)	NORM(50,5)	
5	NORM(24,2,4)	NORM(72,7,2)	NORM(72,7,2)	NORM(72,7,2)	NORM(82,8,2)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(76,7,6)	NORM(78,7,8)	NORM(58,5,8)	
6	NORM(32,3,2)	NORM(80,8)	NORM(72,7,2)	NORM(84,8,4)	NORM(54,5,4)						
7	NORM(42,4,2)	NORM(20,2)	NORM(22,2,2)	NORM(30,3)	NORM(26,2,6)	NORM(80,8)	NORM(38,3,8)	NORM(22,2,2)	NORM(48,4,8)	NORM(52,5,2)	NORM(42,4,2)
8	NORM(40,4)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(46,4,6)	NORM(54,5,4)	NORM(80,8)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(54,5,4)	NORM(40,4)
9	NORM(40,4)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(45,4,5)	NORM(40,4)
10	NORM(42,4,2)	NORM(74,7,4)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(90,9)	NORM(78,7,8)	NORM(80,8)	NORM(74,7,4)	NORM(90,9)	NORM(42,4,2)	NORM(42,4,2)
11	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(88,8,8)	NORM(70,7)	NORM(48,4,8)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(20,2)
12	NORM(22,2,2)	NORM(20,2)	NORM(22,2,2)	NORM(88,8,8)	NORM(70,7)	NORM(20,2)	NORM(24,2,4)	NORM(88,8,8)	NORM(28,2,8)	NORM(28,2,8)	NORM(22,2,2)
13	NORM(20,2)	NORM(30,3)	NORM(20,2)	NORM(30,3)	NORM(20,2)	NORM(22,2,2)	NORM(20,2)	NORM(64,6,4)	NORM(20,2)	NORM(24,2,4)	NORM(20,2)
14	NORM(38,3,8)	NORM(24,2,4)	NORM(22,2,2)	NORM(64,6,4)	NORM(20,2)	NORM(24,2,4)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(28,2,8)	NORM(38,3,8)
15	NORM(22,2,2)	NORM(74,7,4)	NORM(70,7)	NORM(22,2,2)	NORM(34,3,4)	NORM(24,2,4)	NORM(40,4)	NORM(28,2,8)	NORM(34,3,4)	NORM(42,4,2)	NORM(22,2,2)
16	NORM(22,2,2)	NORM(22,2,2)	NORM(36,3,6)	NORM(20,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(24,2,4)	NORM(24,2,4)	NORM(32,3,2)	NORM(60,6)	NORM(22,2,2)
17	NORM(24,2,4)	NORM(26,2,6)	NORM(42,4,2)	NORM(30,3)	NORM(20,2)	NORM(60,6)	NORM(46,4,6)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(46,4,6)	NORM(24,2,4)
18	NORM(20,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(64,6,4)	NORM(20,2)
19	NORM(22,2,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(50,5)	NORM(22,2,2)
20	NORM(22,2,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(30,3)	NORM(22,2,2)
21	NORM(22,2,2)	NORM(72,7,2)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(28,2,8)	NORM(22,2,2)
22	NORM(30,3)	NORM(70,7)	NORM(74,7,4)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(76,7,6)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(78,7,8)	NORM(46,4,6)	NORM(30,3)
23	NORM(30,3)	NORM(78,7,8)	NORM(78,7,8)	NORM(80,8)	NORM(70,7)	NORM(78,7,8)	NORM(44,4,4)				

### Anexo 38: Tiempos de Ruta Variabilidad 15% EST. MRO. MD

Vehículo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	NORM(20,3)	NORM(40,6)	NORM(34,5,1)	NORM(20,3)	NORM(26,3,9)	NORM(30,4,5)	NORM(20,3)	NORM(34,5,1)	NORM(20,3)	NORM(20,3)	NORM(42,6,3)
2	NORM(22,3,3)	NORM(48,7,2)	NORM(20,3)	NORM(88,13,2)	NORM(58,8,7)	NORM(22,3,3)	NORM(70,10,5)	NORM(72,10,8)	NORM(70,10,5)	NORM(28,4,2)	
3	NORM(20,3)	NORM(42,6,3)	NORM(46,6,9)	NORM(74,11,1)	NORM(72,10,8)	NORM(24,3,6)	NORM(80,12)	NORM(72,10,8)	NORM(70,10,5)	NORM(24,3,6)	
4	NORM(20,3)	NORM(72,10,8)	NORM(72,10,8)	NORM(72,10,8)	NORM(70,10,5)	NORM(76,11,4)	NORM(70,10,5)	NORM(76,11,4)	NORM(74,11,1)	NORM(50,7,5)	
5	NORM(24,3,6)	NORM(72,10,8)	NORM(72,10,8)	NORM(72,10,8)	NORM(82,12,3)	NORM(70,10,5)	NORM(72,10,8)	NORM(76,11,4)	NORM(78,11,7)	NORM(58,8,7)	
6	NORM(32,4,8)	NORM(80,12)	NORM(72,10,8)	NORM(84,12,6)	NORM(54,8,1)						
7	NORM(42,6,3)	NORM(20,3)	NORM(22,3,3)	NORM(30,4,5)	NORM(26,3,9)	NORM(80,12)	NORM(38,5,7)	NORM(22,3,3)	NORM(48,7,2)	NORM(52,7,8)	NORM(42,6,3)
8	NORM(40,6)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(46,6,9)	NORM(54,8,1)	NORM(80,12)	NORM(72,10,8)	NORM(70,10,5)	NORM(54,8,1)	NORM(40,6)
9	NORM(40,6)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(72,10,8)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(72,10,8)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(45,6,75)	NORM(40,6)
10	NORM(42,6,3)	NORM(74,11,1)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(90,13,5)	NORM(78,11,7)	NORM(80,12)	NORM(74,11,1)	NORM(90,13,5)	NORM(42,6,3)	NORM(42,6,3)
11	NORM(20,3)	NORM(20,3)	NORM(88,13,2)	NORM(70,10,5)	NORM(48,7,2)	NORM(20,3)	NORM(20,3)	NORM(20,3)	NORM(20,3)	NORM(20,3)	NORM(20,3)
12	NORM(22,3,3)	NORM(20,3)	NORM(22,3,3)	NORM(88,13,2)	NORM(70,10,5)	NORM(20,3)	NORM(24,3,6)	NORM(88,13,2)	NORM(28,4,2)	NORM(28,4,2)	NORM(22,3,3)
13	NORM(20,3)	NORM(30,4,5)	NORM(20,3)	NORM(30,4,5)	NORM(20,3)	NORM(22,3,3)	NORM(20,3)	NORM(64,9,6)	NORM(20,3)	NORM(24,3,6)	NORM(20,3)
14	NORM(38,5,7)	NORM(24,3,6)	NORM(22,3,3)	NORM(64,9,6)	NORM(20,3)	NORM(24,3,6)	NORM(20,3)	NORM(20,3)	NORM(20,3)	NORM(28,4,2)	NORM(38,5,7)
15	NORM(22,3,3)	NORM(74,11,1)	NORM(70,10,5)	NORM(22,3,3)	NORM(34,5,1)	NORM(24,3,6)	NORM(40,6)	NORM(28,4,2)	NORM(34,5,1)	NORM(42,6,3)	NORM(22,3,3)
16	NORM(22,3,3)	NORM(22,3,3)	NORM(36,5,4)	NORM(20,3)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(24,3,6)	NORM(24,3,6)	NORM(32,4,8)	NORM(60,9)	NORM(22,3,3)
17	NORM(24,3,6)	NORM(26,3,9)	NORM(42,6,3)	NORM(30,4,5)	NORM(20,3)	NORM(60,9)	NORM(46,6,9)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(46,6,9)	NORM(24,3,6)
18	NORM(20,3)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(72,10,8)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(64,9,6)	NORM(20,3)
19	NORM(22,3,3)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(50,7,5)	NORM(22,3,3)
20	NORM(22,3,3)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(30,4,5)	NORM(22,3,3)
21	NORM(22,3,3)	NORM(72,10,8)	NORM(72,10,8)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(28,4,2)	NORM(22,3,3)
22	NORM(30,4,5)	NORM(70,10,5)	NORM(74,11,1)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(76,11,4)	NORM(70,10,5)	NORM(72,10,8)	NORM(78,11,7)	NORM(46,6,9)	NORM(30,4,5)
23	NORM(30,4,5)	NORM(78,11,7)	NORM(78,11,7)	NORM(80,12)	NORM(70,10,5)	NORM(78,11,7)	NORM(44,6,6)				



## Anexo 40: Tiempos de Ruta Variabilidad 5% EST. TRO. MD

Vehículo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	NORM(20,1)	NORM(24,1,2)	NORM(20,1)	NORM(72,3,6)	NORM(26,1,3)	NORM(20,1)	NORM(22,1,1)	NORM(22,1,1)	NORM(36,1,8)	NORM(20,1)	NORM(32,1,6)
2	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(46,2,3)	NORM(20,1)	NORM(34,1,7)	NORM(22,1,1)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(22,1,1)	
3	NORM(20,1)	NORM(72,3,6)	NORM(70,3,5)	NORM(26,1,3)	NORM(56,2,8)	NORM(24,1,2)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(42,2,1)	NORM(50,2,5)	
4	NORM(22,1,1)	NORM(70,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(74,3,7)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(26,1,3)	
5	NORM(28,1,4)	NORM(72,3,6)	NORM(76,3,8)	NORM(70,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(72,3,6)	NORM(74,3,7)	NORM(72,3,6)	NORM(74,3,7)	NORM(30,1,5)	
6	NORM(32,1,6)	NORM(80,4)	NORM(74,3,7)	NORM(88,4,4)	NORM(54,2,7)						
7	NORM(44,2,2)	NORM(22,1,1)	NORM(48,2,4)	NORM(20,1)	NORM(70,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(80,4)	NORM(84,4,2)	NORM(70,3,5)	NORM(62,3,1)	NORM(44,2,2)
8	NORM(44,2,2)	NORM(66,3,3)	NORM(20,1)	NORM(70,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(70,3,5)	NORM(28,1,4)	NORM(62,3,1)	NORM(70,3,5)	NORM(54,2,7)	NORM(44,2,2)
9	NORM(40,2)	NORM(70,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(50,2,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(78,3,9)	NORM(42,2,1)	NORM(40,2)
10	NORM(54,2,7)	NORM(70,3,5)	NORM(74,3,7)	NORM(78,3,9)	NORM(72,3,6)	NORM(78,3,9)	NORM(76,3,8)	NORM(80,4)	NORM(76,3,8)	NORM(39,1,95)	NORM(54,2,7)
11	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(22,1,1)	NORM(78,3,9)	NORM(70,3,5)	NORM(24,1,2)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)
12	NORM(22,1,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(36,1,8)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(20,1)	NORM(30,1,5)	NORM(20,1)	NORM(40,2)	NORM(22,1,1)
13	NORM(20,1)	NORM(22,1,1)	NORM(20,1)	NORM(26,1,3)	NORM(22,1,1)	NORM(22,1,1)	NORM(20,1)	NORM(62,3,1)	NORM(20,1)	NORM(56,2,8)	NORM(20,1)
14	NORM(20,1)	NORM(22,1,1)	NORM(32,1,6)	NORM(20,1)	NORM(48,2,4)	NORM(20,1)	NORM(38,1,9)	NORM(20,1)	NORM(88,4,4)	NORM(52,2,6)	NORM(20,1)
15	NORM(24,1,2)	NORM(70,3,5)	NORM(40,2)	NORM(20,1)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(20,1)	NORM(28,1,4)	NORM(32,1,6)	NORM(24,1,2)
16	NORM(22,1,1)	NORM(22,1,1)	NORM(30,1,5)	NORM(66,3,3)	NORM(28,1,4)	NORM(70,3,5)	NORM(20,1)	NORM(36,1,8)	NORM(24,1,2)	NORM(56,2,8)	NORM(22,1,1)
17	NORM(22,1,1)	NORM(88,4,4)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(32,1,6)	NORM(36,1,8)	NORM(84,4,2)	NORM(52,2,6)	NORM(22,1,1)
18	NORM(24,1,2)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(82,4,1)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(50,2,5)	NORM(24,1,2)
19	NORM(22,1,1)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(90,4,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(30,1,5)	NORM(22,1,1)
20	NORM(24,1,2)	NORM(48,2,4)	NORM(46,2,3)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(48,2,4)	NORM(24,1,2)
21	NORM(22,1,1)	NORM(70,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(74,3,7)	NORM(70,3,5)	NORM(30,1,5)	NORM(22,1,1)
22	NORM(30,1,5)	NORM(74,3,7)	NORM(72,3,6)	NORM(70,3,5)	NORM(80,4)	NORM(74,3,7)	NORM(72,3,6)	NORM(70,3,5)	NORM(70,3,5)	NORM(34,1,7)	NORM(30,1,5)
23	NORM(30,1,5)	NORM(84,4,2)	NORM(74,3,7)	NORM(70,3,5)	NORM(72,3,6)	NORM(74,3,7)	NORM(52,2,6)				

### Anexo 41: Tiempos de Ruta Variabilidad 10% EST. TRO. MD

Vehículo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	NORM(20,2)	NORM(24,2,4)	NORM(20,2)	NORM(72,7,2)	NORM(26,2,6)	NORM(20,2)	NORM(22,2,2)	NORM(22,2,2)	NORM(36,3,6)	NORM(20,2)	NORM(32,3,2)
2	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(46,4,6)	NORM(20,2)	NORM(34,3,4)	NORM(22,2,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(22,2,2)	
3	NORM(20,2)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(26,2,6)	NORM(56,5,6)	NORM(24,2,4)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(42,4,2)	NORM(50,5)	
4	NORM(22,2,2)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(74,7,4)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(26,2,6)	
5	NORM(28,2,8)	NORM(72,7,2)	NORM(76,7,6)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(72,7,2)	NORM(74,7,4)	NORM(72,7,2)	NORM(74,7,4)	NORM(30,3)	
6	NORM(32,3,2)	NORM(80,8)	NORM(74,7,4)	NORM(88,8,8)	NORM(54,5,4)						
7	NORM(44,4,4)	NORM(22,2,2)	NORM(48,4,8)	NORM(20,2)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(80,8)	NORM(84,8,4)	NORM(70,7)	NORM(62,6,2)	NORM(44,4,4)
8	NORM(44,4,4)	NORM(66,6,6)	NORM(20,2)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(28,2,8)	NORM(62,6,2)	NORM(70,7)	NORM(54,5,4)	NORM(44,4,4)
9	NORM(40,4)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(50,5)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(78,7,8)	NORM(42,4,2)	NORM(40,4)
10	NORM(54,5,4)	NORM(70,7)	NORM(74,7,4)	NORM(78,7,8)	NORM(72,7,2)	NORM(78,7,8)	NORM(76,7,6)	NORM(80,8)	NORM(76,7,6)	NORM(39,3,9)	NORM(54,5,4)
11	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(22,2,2)	NORM(78,7,8)	NORM(70,7)	NORM(24,2,4)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(20,2)
12	NORM(22,2,2)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(36,3,6)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(20,2)	NORM(30,3)	NORM(20,2)	NORM(40,4)	NORM(22,2,2)
13	NORM(20,2)	NORM(22,2,2)	NORM(20,2)	NORM(26,2,6)	NORM(22,2,2)	NORM(22,2,2)	NORM(20,2)	NORM(62,6,2)	NORM(20,2)	NORM(56,5,6)	NORM(20,2)
14	NORM(20,2)	NORM(22,2,2)	NORM(32,3,2)	NORM(20,2)	NORM(48,4,8)	NORM(20,2)	NORM(38,3,8)	NORM(20,2)	NORM(88,8,8)	NORM(52,5,2)	NORM(20,2)
15	NORM(24,2,4)	NORM(70,7)	NORM(40,4)	NORM(20,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(20,2)	NORM(28,2,8)	NORM(32,3,2)	NORM(24,2,4)
16	NORM(22,2,2)	NORM(22,2,2)	NORM(30,3)	NORM(66,6,6)	NORM(28,2,8)	NORM(70,7)	NORM(20,2)	NORM(36,3,6)	NORM(24,2,4)	NORM(56,5,6)	NORM(22,2,2)
17	NORM(22,2,2)	NORM(88,8,8)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(32,3,2)	NORM(36,3,6)	NORM(84,8,4)	NORM(52,5,2)	NORM(22,2,2)
18	NORM(24,2,4)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(82,8,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(50,5)	NORM(24,2,4)
19	NORM(22,2,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(90,9)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(30,3)	NORM(22,2,2)
20	NORM(24,2,4)	NORM(48,4,8)	NORM(46,4,6)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(48,4,8)	NORM(24,2,4)
21	NORM(22,2,2)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(74,7,4)	NORM(70,7)	NORM(30,3)	NORM(22,2,2)
22	NORM(30,3)	NORM(74,7,4)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(80,8)	NORM(74,7,4)	NORM(72,7,2)	NORM(70,7)	NORM(70,7)	NORM(34,3,4)	NORM(30,3)
23	NORM(30,3)	NORM(84,8,4)	NORM(74,7,4)	NORM(70,7)	NORM(72,7,2)	NORM(74,7,4)	NORM(52,5,2)				

### Anexo 42: Tiempos de Ruta Variabilidad 15% EST. TRO. MD

Vehículo	Deposito	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
1	NORM(20,3)	NORM(24,3,6)	NORM(20,3)	NORM(72,10,8)	NORM(26,3,9)	NORM(20,3)	NORM(22,3,3)	NORM(22,3,3)	NORM(36,5,4)	NORM(20,3)	NORM(32,4,8)
2	NORM(20,3)	NORM(20,3)	NORM(46,6,9)	NORM(20,3)	NORM(34,5,1)	NORM(22,3,3)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(22,3,3)	NORM(20,3)
3	NORM(20,3)	NORM(72,10,8)	NORM(70,10,5)	NORM(26,6,3,9)	NORM(56,8,4)	NORM(24,3,6)	NORM(70,10,5)	NORM(70,10,5)	NORM(42,6,3)	NORM(50,7,5)	NORM(20,3)

4	NORM(2 2,3,3)	NORM (70,10, 5)	NORM (72,10, 8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM( 72,10,8)	NORM( 26,3,9)	NORM(2 2,3,3)
5	NORM(2 8,4,2)	NORM (72,10, 8)	NORM (76,11, 4)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 2,10,8)	NORM( 74,11,1)	NORM( 30,4,5)	NORM(2 8,4,2)
6	NORM(3 2,4,8)	NORM (80,12 )	NORM (74,11, 1)	NORM(8 8,13,2)	NORM(5 4,8,1)						
7	NORM(4 4,6,6)	NORM (22,3,3 )	NORM (48,7,2 )	NORM(2 0,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(8 0,12)	NORM(8 4,12,6)	NORM( 70,10,5)	NORM( 62,9,3)	NORM(4 4,6,6)
8	NORM(4 4,6,6)	NORM (66,9,9 )	NORM (20,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(2 8,4,2)	NORM(6 2,9,3)	NORM( 70,10,5)	NORM( 54,8,1)	NORM(4 4,6,6)
9	NORM(4 0,6)	NORM (70,10, 5)	NORM (72,10, 8)	NORM(5 0,7,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM( 78,11,7)	NORM( 42,6,3)	NORM(4 0,6)
10	NORM(5 4,8,1)	NORM (70,10, 5)	NORM (74,11, 1)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 6,11,4)	NORM(8 0,12)	NORM( 76,11,4)	NORM( 39,5,85 )	NORM(5 4,8,1)
11	NORM(2 0,3)	NORM (20,3)	NORM (20,3)	NORM(2 0,3)	NORM(2 2,3,3)	NORM(7 8,11,7)	NORM(7 0,10,5)	NORM(2 4,3,6)	NORM( 20,3)	NORM( 20,3)	NORM(2 0,3)
12	NORM(2 2,3,3)	NORM (20,3)	NORM (20,3)	NORM(3 6,5,4)	NORM(2 0,3)	NORM(2 0,3)	NORM(2 0,3)	NORM(3 0,4,5)	NORM( 20,3)	NORM( 40,6)	NORM(2 2,3,3)
13	NORM(2 0,3)	NORM (22,3,3 )	NORM (20,3)	NORM(2 6,3,9)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 2,3,3)	NORM(2 0,3)	NORM(6 2,9,3)	NORM( 20,3)	NORM( 56,8,4)	NORM(2 0,3)
14	NORM(2 0,3)	NORM (22,3,3 )	NORM (32,4,8 )	NORM(2 0,3)	NORM(4 8,7,2)	NORM(2 0,3)	NORM(3 8,5,7)	NORM(2 0,3)	NORM( 88,13,2)	NORM( 52,7,8)	NORM(2 0,3)
15	NORM(2 4,3,6)	NORM (70,10, 5)	NORM (40,6)	NORM(2 0,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(2 0,3)	NORM( 28,4,2)	NORM( 32,4,8)	NORM(2 4,3,6)
16	NORM(2 2,3,3)	NORM (22,3,3 )	NORM (30,4,5 )	NORM(6 6,9,9)	NORM(2 8,4,2)	NORM(7 0,10,5)	NORM(2 0,3)	NORM(3 6,5,4)	NORM( 24,3,6)	NORM( 56,8,4)	NORM(2 2,3,3)
17	NORM(2 2,3,3)	NORM (88,13, 2)	NORM (70,10, 5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(3 2,4,8)	NORM(3 6,5,4)	NORM( 84,12,6)	NORM( 52,7,8)	NORM(2 2,3,3)
18	NORM(2 4,3,6)	NORM (70,10, 5)	NORM (70,10, 5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 2,12,3)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM( 70,10,5)	NORM( 50,7,5)	NORM(2 4,3,6)
19	NORM(2 2,3,3)	NORM (70,10, 5)	NORM (70,10, 5)	NORM(9 0,13,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM( 70,10,5)	NORM( 30,4,5)	NORM(2 2,3,3)
20	NORM(2 4,3,6)	NORM (48,7,2 )	NORM (46,6,9 )	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM( 70,10,5)	NORM( 48,7,2)	NORM(2 4,3,6)
21	NORM(2 2,3,3)	NORM (70,10, 5)	NORM (72,10, 8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 4,11,1)	NORM( 70,10,5)	NORM( 30,4,5)	NORM(2 2,3,3)
22	NORM(3 0,4,5)	NORM (74,11, 1)	NORM (72,10, 8)	NORM(7 0,10,5)	NORM(8 0,12)	NORM(7 4,11,1)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 0,10,5)	NORM( 70,10,5)	NORM( 34,5,1)	NORM(3 0,4,5)
23	NORM(3 0,4,5)	NORM (84,12, 6)	NORM (74,11, 1)	NORM(7 0,10,5)	NORM(7 2,10,8)	NORM(7 4,11,1)	NORM(5 2,7,8)				

### Anexo 43. Resultados de Costos para Diseño de Experimentos

OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	NAT	RUT	CLU	costo
1	1	1	1	DET	NO	ACT	15654000
2	2	1	1	DET	NO	MD	15654000
3	3	1	1	DET	DEO	ACT	15778000
4	4	1	1	DET	DEO	MD	15152000
5	5	1	1	DET	MRO	ACT	11820000
6	6	1	1	DET	MRO	MD	11643000
7	7	1	1	DET	TRO	ACT	12045000
8	8	1	1	DET	TRO	MD	11467000
9	9	1	1	EST	NO	ACT	15642217,1
10	10	1	1	EST	NO	MD	15642217,1
11	11	1	1	EST	DEO	ACT	15959529,5
12	12	1	1	EST	DEO	MD	15142843,1
13	13	1	1	EST	MRO	ACT	11798895,9
14	14	1	1	EST	MRO	MD	11641589,3
15	15	1	1	EST	TRO	ACT	12042586,5
16	16	1	1	EST	TRO	MD	11464506,7
17	17	1	2	DET	NO	ACT	15654000
18	18	1	2	DET	NO	MD	15654000
19	19	1	2	DET	DEO	ACT	15778000
20	20	1	2	DET	DEO	MD	15152000
21	21	1	2	DET	MRO	ACT	11820000
22	22	1	2	DET	MRO	MD	11643000
23	23	1	2	DET	TRO	ACT	12045000
24	24	1	2	DET	TRO	MD	11467000
25	25	1	2	EST	NO	ACT	15642217,1
26	26	1	2	EST	NO	MD	15642217,1
27	27	1	2	EST	DEO	ACT	15959529,5
28	28	1	2	EST	DEO	MD	15142843,1
29	29	1	2	EST	MRO	ACT	11798895,9
30	30	1	2	EST	MRO	MD	11641589,3
31	31	1	2	EST	TRO	ACT	12042586,5
32	32	1	2	EST	TRO	MD	11464506,7
33	33	1	3	DET	NO	ACT	15654000
34	34	1	3	DET	NO	MD	15654000
35	35	1	3	DET	DEO	ACT	15778000
36	36	1	3	DET	DEO	MD	15152000
37	37	1	3	DET	MRO	ACT	11820000

38	38	1	3	DET	MRO	MD	11643000
39	39	1	3	DET	TRO	ACT	12045000
40	40	1	3	DET	TRO	MD	11467000
41	41	1	3	EST	NO	ACT	15642217,1
42	42	1	3	EST	NO	MD	15642217,1
43	43	1	3	EST	DEO	ACT	15959529,5
44	44	1	3	EST	DEO	MD	15142843,1
45	45	1	3	EST	MRO	ACT	11798895,9
46	46	1	3	EST	MRO	MD	11641589,3
47	47	1	3	EST	TRO	ACT	12042586,5
48	48	1	3	EST	TRO	MD	11464506,7

#### Anexo 44. Resultados de Tiempos para Diseño de Experimentos

OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	NAT	RUT	CLU	tiempo
1	1	1	1	DET	NO	ACT	200,75
2	2	1	1	DET	NO	MD	200,75
3	3	1	1	DET	DEO	ACT	266,3
4	4	1	1	DET	DEO	MD	225,53
5	5	1	1	DET	MRO	ACT	196,7
6	6	1	1	DET	MRO	MD	194,05
7	7	1	1	DET	TRO	ACT	200,75
8	8	1	1	DET	TRO	MD	191,12
9	9	1	1	EST	NO	ACT	260,403
10	10	1	1	EST	NO	MD	260,403
11	11	1	1	EST	DEO	ACT	265,986
12	12	1	1	EST	DEO	MD	252,382
13	13	1	1	EST	MRO	ACT	196,249
14	14	1	1	EST	MRO	MD	194,025
15	15	1	1	EST	TRO	ACT	200,71
16	16	1	1	EST	TRO	MD	191,075
17	17	1	2	DET	NO	ACT	200,75
18	18	1	2	DET	NO	MD	200,75
19	19	1	2	DET	DEO	ACT	266,3
20	20	1	2	DET	DEO	MD	225,53
21	21	1	2	DET	MRO	ACT	196,7
22	22	1	2	DET	MRO	MD	194,05
23	23	1	2	DET	TRO	ACT	200,75
24	24	1	2	DET	TRO	MD	191,12



25	25	1	2	EST	NO	ACT	260,403
26	26	1	2	EST	NO	MD	260,403
27	27	1	2	EST	DEO	ACT	265,986
28	28	1	2	EST	DEO	MD	252,382
29	29	1	2	EST	MRO	ACT	196,249
30	30	1	2	EST	MRO	MD	194,025
31	31	1	2	EST	TRO	ACT	200,71
32	32	1	2	EST	TRO	MD	191,075
33	33	1	3	DET	NO	ACT	200,75
34	34	1	3	DET	NO	MD	200,75
35	35	1	3	DET	DEO	ACT	266,3
36	36	1	3	DET	DEO	MD	225,53
37	37	1	3	DET	MRO	ACT	196,7
38	38	1	3	DET	MRO	MD	194,05
39	39	1	3	DET	TRO	ACT	200,75
40	40	1	3	DET	TRO	MD	191,12
41	41	1	3	EST	NO	ACT	260,403
42	42	1	3	EST	NO	MD	260,403
43	43	1	3	EST	DEO	ACT	265,986
44	44	1	3	EST	DEO	MD	252,382
45	45	1	3	EST	MRO	ACT	196,249
46	46	1	3	EST	MRO	MD	194,025
47	47	1	3	EST	TRO	ACT	200,71
48	48	1	3	EST	TRO	MD	191,075

## Anexo 45. Resultados para Experimento Factorial de Costo

### ANOVA unidireccional: costo vs. NAT

Fuente	GL	SC	CM	F	P
NAT	1	2762693771	2762693771	0,00	0,979
Error	46	1,79560E+14	3,90348E+12		
Total	47	1,79563E+14			

S = 1975724 R-cuad. = 0,00% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

ICs de 95% individuales para la media  
basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----
DET	24	13651625	1962746	(-----*-----)
EST	24	13666798	1988617	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----

13000000 13500000 14000000 14500000

Desv.Est. agrupada = 1975724

### ANOVA unidireccional: costo vs. RUT

Fuente	GL	SC	CM	F	P
RUT	3	1,76865E+14	5,89551E+13	961,50	0,000
Error	44	2,69788E+12	61315453093		
Total	47	1,79563E+14			

S = 247620 R-cuad. = 98,50% R-cuad.(ajustado) = 98,40%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
NO	12	15648109	6153	(*-)
DEO	12	15508093	382642	(*)
MRO	12	11725871	87642	(*)
TRO	12	11754773	301874	(*)

12000000 13200000 14400000 15600000

Desv.Est. agrupada = 247620

### ANOVA unidireccional: costo vs. CLU

Fuente	GL	SC	CM	F	P
CLU	1	1,61305E+12	1,61305E+12	0,42	0,522
Error	46	1,77950E+14	3,86848E+12		
Total	47	1,79563E+14			

S = 1966845 R-cuad. = 0,90% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
ACT	24	13842529	1961122	(-----*-----)
MD	24	13475895	1972551	(-----*-----)

13000000 13500000 14000000 14500000

Desv.Est. agrupada = 1966845

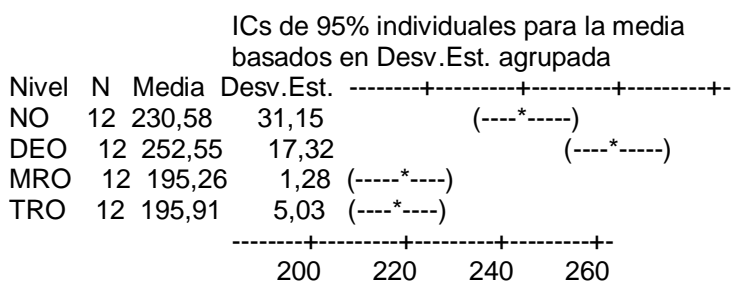
## Anexo 46. Resultados de Experimento Factorial de Tiempo

### Resultados para: EXPERIMENTO\_FACT.MTW

#### ANOVA unidireccional: tiempo vs. RUT

Fuente	GL	SC	CM	F	P
RUT	3	28267	9422	29,05	0,000
Error	44	14271	324		
Total	47	42538			

S = 18,01 R-cuad. = 66,45% R-cuad.(ajustado) = 64,16%

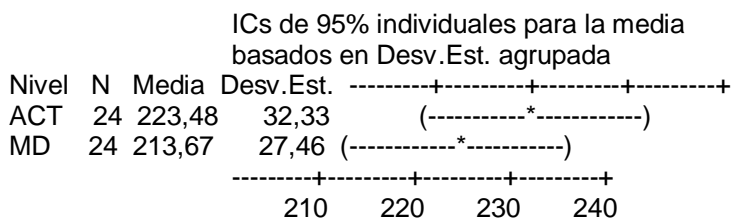


Desv.Est. agrupada = 18,01

#### ANOVA unidireccional: tiempo vs. CLU

Fuente	GL	SC	CM	F	P
CLU	1	1156	1156	1,28	0,263
Error	46	41383	900		
Total	47	42538			

S = 29,99 R-cuad. = 2,72% R-cuad.(ajustado) = 0,60%



Desv.Est. agrupada = 29,99

#### ANOVA unidireccional: tiempo vs. NAT

Fuente	GL	SC	CM	F	P
NAT	1	3958	3958	4,72	0,035


Error 46 38581 839  
 Total 47 42538

S = 28,96 R-cuad. = 9,30% R-cuad.(ajustado) = 7,33%

ICs de 95% individuales para la media  
 basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+-----
DET	24	209,49	24,10	(-----*-----)
EST	24	227,65	33,11	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----
				204 216 228 240

Desv.Est. agrupada = 28,96

	<b>NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION</b>	<b>VERSIÓN:2.0</b>
		<b>FECHA: Junio 2012</b>
		<b>CÓDIGO: DOC-VACRE-NETGUDI</b>

**CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO**

Barranquilla, Fecha

**Marque con una X**  
 Tesis  Trabajo de Grado

Yo, CRISTIAN ANDRES MARTINEZ CARRANZA, identificado con C.C. No. 1.041.894.144, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado MODELACIÓN DE UNA HEURÍSTICA PARA EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN MODELO DETERMINÍSTICO DE RUTEO DE VEHÍCULOS MÚLTIPLES DEPÓSITOS BAJO UN AMBIENTE ESTOCÁSTICO presentado y aprobado en el año 2014 como requisito para optar al título de INGENIERO INDUSTRIAL; hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:


Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer. El AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los 15 días del mes de Julio de Dos Mil Catorce 2014.

EL AUTOR - ESTUDIANTE.

  
**FIRMA**



	<b>NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION</b>	<b>VERSIÓN:2.0</b>
		<b>FECHA: Junio 2012</b>
		<b>CÓDIGO: DOC-VACRE-NETGUDI</b>

**CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO**

Barranquilla, Fecha

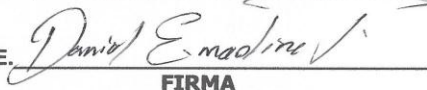
**Marque con una X**  
 Tesis  Trabajo de Grado

Yo, DANIEL EDUARDO MEDINA TURIZO, identificado con C.C. No. 1.052.968.319, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado MODELACIÓN DE UNA HEURÍSTICA PARA EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN MODELO DETERMINÍSTICO DE RUTEO DE VEHÍCULOS MÚLTIPLES DEPÓSITOS BAJO UN AMBIENTE ESTOCÁSTICO presentado y aprobado en el año 2014 como requisito para optar al título de INGENIERO INDUSTRIAL; hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.


Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer. El AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe. Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los 15 días del mes de Julio de Dos Mil Catorce 2014.

EL AUTOR - ESTUDIANTE.

  
**FIRMA**



	<b>NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION</b>	<b>VERSIÓN:2.0</b>
		<b>FECHA: Junio 2012</b>
		<b>CÓDIGO: DOC-VACRE-NETGUDI</b>

**FORMULARIO DE LA DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO**

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS O TRABAJO DE GRADO: MODELACIÓN DE UNA HEURÍSTICA PARA EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN MODELO DETERMINÍSTICO DE RUTEO DE VEHÍCULOS MULTIPLES DEPÓSITOS BAJO UN AMBIENTE ESTOCÁSTICO.

**AUTOR AUTORES**

Apellidos Completos	Nombres Completos
MARTINEZ CARRANZA	CRISTIAN ANDRES
MEDINA TURIZO	DANIEL EDUARDO

**DIRECTOR (ES)**

Apellidos Completos	Nombres Completos
NIETO ISAZA	SANTIAGO

**JURADO (S)**

Apellidos Completos	Nombres Completos
HERAZO PADILLA	NILSON SEBASTIAN
RAMIREZ RIOS	DIANA GINETH

**ASESOR(ES) O CODIRECTOR**


Apellidos Completos	Nombres Completos
NIETO ISAZA	SANTIAGO

TRABAJO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE: INGENIERO INDUSTRIAL.

**FACULTAD:** INGENIERÍA

**PROGRAMA:** Pregrado X Especialización \_\_\_\_\_



	<b>NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION</b>	<b>VERSIÓN:2.0</b>
		<b>FECHA: Junio 2012</b>
		<b>CÓDIGO: DOC-VACRE-NETGUDI</b>

**NOMBRE DEL PROGRAMA:** INGENIERÍA INDUSTRIAL.

**CIUDAD:** Barranquilla **AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO** 2014

**NÚMERO DE PÁGINAS** 148

**TIPO DE ILUSTRACIONES:**

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Ilustraciones                           | <input type="checkbox"/> Planos      |
| <input type="checkbox"/> Láminas                                 | <input type="checkbox"/> Mapas       |
| <input type="checkbox"/> Retratos                                | <input type="checkbox"/> Fotografías |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tablas, gráficos y diagramas |                                      |

**MATERIAL ANEXO** (Video, audio, multimedia, o producción electrónica):

Duración del audiovisual: \_\_\_\_\_ minutos.

Número de casetes de vídeo: \_\_\_\_\_ Formato: VHS \_\_\_\_\_ Beta Max \_\_\_\_\_ <sup>3/4</sup> \_\_\_\_\_ Beta Cam \_\_\_\_\_

Mini DV \_\_\_\_\_ DV Cam \_\_\_\_\_ DVC Pro \_\_\_\_\_ Vídeo 8 \_\_\_\_\_ Hi 8 \_\_\_\_\_

Otro. Cuál? \_\_\_\_\_

Sistema: Americano NTSC \_\_\_\_\_ Europeo PAL \_\_\_\_\_ SECAM \_\_\_\_\_

**Número de casetes de audio:** \_\_\_\_\_

**Número de archivos dentro del DVD** (En caso de incluirse un DVD diferente al trabajo de grado): \_\_\_\_\_


**PREMIO O DISTINCIÓN** (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial): \_\_\_\_\_

**DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:** Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. *(En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Unidad de Procesos Técnicos de la Unidad de información en el correo biblioteca@cuc.edu.co, donde se les orientará).*

**ESPAÑOL**

**INGLÉS**

_____	_____
_____	_____
_____	_____

	<b>NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION</b>	<b>VERSIÓN:2.0</b>
		<b>FECHA: Junio 2012</b>
		<b>CÓDIGO: DOC-VACRE-NETGUDI</b>

**RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS:(Máximo 250 palabras-1530 caracteres):**

En esta investigación se propone modelar una heurística para el análisis del desempeño de un modelo determinístico de ruteo de vehículos múltiples depósitos en un ambiente estocástico, en una empresa de acueducto del municipio de Uribia, Guajira, la cual se encarga de la distribución de agua potable a través de flotas de carro tanques para pequeñas comunidades indígenas del sector. Inicialmente se realiza una amplia revisión de la literatura de los VRP de tipo estocástico. Luego se realiza la modelación de un SMDVRP en tres etapas, la primera es un procedimiento de clusterización por depósitos bajo el criterio de mínima distancia recorrida, en la segunda se utiliza un método para la optimización de rutas de un (CVRP) basado en algoritmos de colonias de hormigas y en la tercera etapa se realiza la modelación estocástica del problema en base a dos variables de estudio. Por último se realiza un diseño de experimentos a los resultados obtenidos de la modelación del SVRP, para esto se definen unos factores de diseño con sus respectivos niveles, unos bloques de variabilidad y las variables de respuesta de interés del caso. El objetivo del diseño de experimentos para determinar qué factores son significativos de acuerdo con las variables de respuesta del caso y que ofrecen un mejor desempeño operacional del modelo de simulación estudiado. Los resultados obtenidos presentan un ahorro del 27% sobre los costos operacionales con respecto a la política de distribución actual que utiliza la empresa a la cual se hace el estudio.

**Palabras clave:** Problema de ruteo de vehículos de múltiples depósitos (MDVRP), Ambiente estocástico, Clusterización, Colonias de Hormigas, Simulación discreta, Diseño de Experimentos.

This research proposes a heuristic model for analyzing the performance of a deterministic model of multiple vehicle routing in a stochastic environment deposits, in a company aqueduct Uribia, Guajira, which is responsible for the distribution of drinking water by tank truck fleets for small indigenous communities sector. Initially an extensive literature review of stochastic VRP type is performed. SMDVRP modeling of a three-step is then performed, the first is a method of clustering on deposits under the criterion of minimum distance, the second a method of route optimization of a (CVRP) based algorithms used ant colonies and in the third stage the stochastic modeling of the problem is performed on the basis of two variables of the study. Finally, a design of experiments to the results of the modeling SVRP to this design factors at their respective levels are defined, and blocks of variable response variables of interest the case is performed. The objective of design of experiments to determine which factors are significant according to the response variables of the case and which offer better operational performance of the simulation model studied. The results show a 27% savings on operating costs compared to current distribution policy used by the company to which the study is done.

**Keywords:** Multiple deposit vehicle routing problem (MDVRP), stochastic environment, Clustering, Ant Colony, discrete simulation, Design of Experiments.