
Diseño de un modelo de optimización al problema de ruteo vehicular en la distribución de
productos de la empresa Proquimco S.A.S.

Marcio Ortiz Rodríguez
Jairo Camilo Gamarra Atencia

Corporación Universitaria del Caribe – CECAR
Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura
Ingeniería Industrial
Sincelejo
2017

Diseño de un modelo de optimización al problema de ruteo vehicular en la distribución de
productos de la empresa Proquimco S.A.S.

Marcio Ortiz Rodríguez
Jairo Camilo Gamarra Atencia

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial

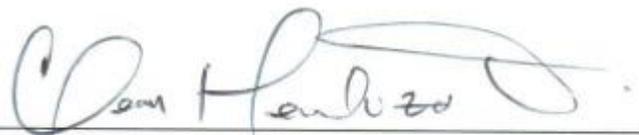
Director
Gean Pablo Mendoza Ortega

Co-Director
Cesar José Vergara Rodríguez

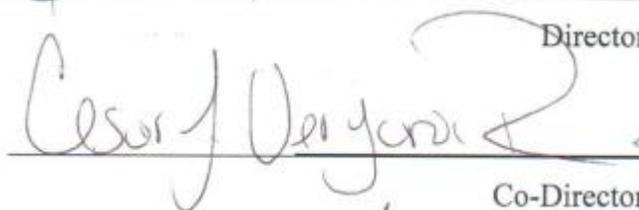
Corporación Universitaria del Caribe – CECAR
Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura
Ingeniería Industrial
Sincelejo
2017

Nota de Aceptación

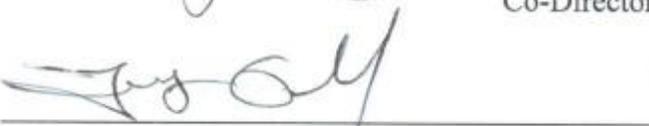
4,32



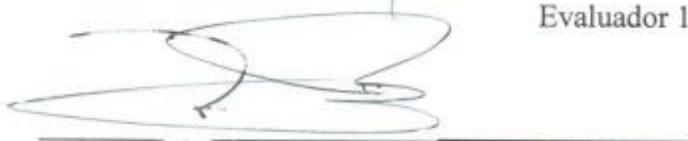
Director



Co-Director



Evaluador 1



Evaluador 2

Agradecimientos

Primero que todo quiero agradecerle a Dios, por la sabiduría que depositó en mí para culminar esta meta, porque sin El nada de esto fuera posible. Por todas las pruebas que me hizo pasar para llegar hasta donde estoy. Por ser mí sustento cuando todo estaba de cabeza y no se veía nada a favor y simplemente por ser un amigo fiel e inspirarme a nunca rendirme y dar lo mejor siempre. Agradezco a mis padres y hermano por darme ese voto de confianza y por todo el sacrificio que han hecho para verme triunfar en la vida. Por darme apoyo incondicional e incitarme a ir más lejos. Por enseñarme a valorar todo regalo que te da la vida. Le agradezco a mi novia Angie García por ser ese bastón en el cual pude apoyarme en tiempos difíciles, por ser esa compañera que siempre ha estado conmigo en las buenas y en las malas. Por ser tan especial conmigo y darme animo en los momentos que necesitaba a alguien, por nunca dejarme solo y por todo el cariño brindado. A la Corporación Universitaria del Caribe y a todos los docentes que Dios utilizo como instrumento para guiarme en el camino de la investigación y formarme integrante como persona y profesional.

Marcio Ortiz Rodríguez

La principal pauta y guía para la culminación de todo proceso en mi vida siempre ha sido y será Dios, agradezco infinitamente que siempre sea mi faro a seguir, que me haya brindado sabiduría para afrontar todos los obstáculos que se me han presentado. En segundo lugar, agradezco a mis padres porque gracias a ellos me he formado académica e integralmente, se los debo absolutamente todo a ellos quienes han sido siempre baluartes en mi vida y siempre una voz de aliento en los momentos de decadencia, agradezco al resto de mi familia por apoyarme y estar siempre presentes. A la Corporación Universitaria del Caribe en general y a los docentes por servirme de guía y ser parte de mi formación personal y profesional.

Jairo Camilo Gamarra Atencia

Tabla de Contenido

Resumen.....	13
Abstract.....	14
Introducción.....	15
Objetivos.....	18
General.....	18
Específicos.....	18
1. Revisión Bibliográfica.....	19
1.1. Logística.....	19
1.1.1. Distribución.....	20
1.2. Optimización.....	22
1.2.1. Función Objetivo.....	23
1.2.2. Variables de Decisión.....	23
1.2.3. Parámetros.....	23
1.2.4. Restricciones.....	23
1.3. Problema de ruteo de vehículos.....	24
2. Tipos De Problemas De Ruteo Y Métodos De Solución.....	27
2.1.1. Problema del Agente Viajero (TSP).....	27
2.2. Problema m Agentes Viajeros (m-TSP).....	28
2.3. Problema de Ruteo de Vehículos con restricciones de capacidad (VRP – CVRP).....	29
2.4. Problema de Ruteo de vehículos con Entregas Divididas (SDVRP).....	32
2.5. Problemas de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW):.....	33
2.6. Problema de Ruteo de Vehículos con Restricciones de Tiempos o VRPTC.....	36
2.7. Problema de Ruteo de Vehículos con Flota Homogénea, Restricciones de Capacidad y Tiempo o CVRP-HFTC.....	37
2.8. Métodos de Solución.....	41
2.8.1. Métodos exactos.....	41
2.8.1.1. Ramificación y Acotamiento (Branch and Bound).	42

2.8.1.2.	Métodos de Planos de Corte.	43
2.8.1.3.	Métodos de Ramificación y Corte (Branch and Cut).	43
2.8.2.	Heurísticas.....	44
2.8.2.1.	Heurística del Vecino más Próximo.	45
2.8.2.2.	Modelo de los ahorros (Clarke and Wright).	46
2.8.2.3.	Método de Rutear Primero y Asignar Después (Routing First Clustering Second).	47
2.8.2.4.	Método de Asignar Primero y Rutear Después (Routing First Clustering Second).	48
2.8.3.	Meta Heurísticas.	48
2.8.3.1.	Recocido simulado (Simulated Annealing, SA).	49
2.8.3.2.	Búsqueda Tabú (Tabú Search, TS).	49
2.8.3.3.	Algoritmos Genéticos (Genetic Algorithm, GA).	50
2.8.3.4.	Colonias de Hormigas (Ant Colony, ACO).	50
3.	Caracterización De La Empresa Proquimco S.A.S	52
3.1.	Proquimco S.A.S.	52
3.2.	Proceso de Distribución de Mercancías	53
3.2.1.	Pedido de Productos.....	53
3.2.2.	Cargue del Vehículo.	54
3.2.3.	Distribución de Bienes.....	54
3.2.3.1.	Elementos del proceso de distribución de Bienes.	55
3.2.3.1.1.	Clientes.	55
3.2.3.1.2.	Vehículos.	57
3.2.3.1.3.	Productos.	58
3.3.	Costos de Transportes	63
3.3.1.	Costos Fijos.....	63
3.3.1.1.	Salarios de trabajadores.	63
3.3.1.2.	Seguros.	64
3.3.1.3.	Depreciación:.....	65
3.3.1.4.	Impuestos de Rodamiento:	66

3.3.1.5.	Mantenimiento del vehículo:.....	67
3.3.2.	Costos Variables.....	68
3.3.2.1.	Combustible:.....	68
3.3.2.2.	Aceites.....	69
3.3.2.3.	Neumáticos:.....	70
3.4.	Rutas de la empresa Proquimco.....	71
3.4.1.	Ruta N° 1.....	73
3.4.2.	Ruta N° 2.....	74
3.4.3.	Ruta N° 3.....	75
3.4.4.	Ruta N° 4.....	76
3.4.5.	Ruta N° 5.....	77
3.4.6.	Ruta N° 6.....	78
4.	Problema De Ruteo De Vehículos Con Flota Homogénea, Restricciones De Capacidad Y Tiempo.....	80
4.1.	Modelo Conceptual.....	80
4.2.	Modelo Matemático Para El Problema de Ruteo de Vehículos Con Flota Homogénea, Restricciones de Capacidad y Tiempo.....	81
4.2.1.	Conjuntos.....	81
4.2.2.	Parámetros.....	82
4.2.3.	Variable de Decisión.....	82
4.2.4.	Función objetivo.....	82
4.2.5.	Restricciones.....	83
5.	Resolución Del Problema De Ruteo De Vehículos Con Flota Homogénea, Restricciones De Capacidad Y Tiempo.....	84
5.1.	Programación de Rutas.....	84
5.2.	Comparación de resultados.....	90
6.	Conclusión.....	92
	Referencias Bibliográficas.....	94

Lista de Figuras

Figura 1. Proceso logístico.....	20
Figura 2: Métodos de solución.....	41
Figura 3: Métodos Exactos	42
Figura 4: Heurísticas	45
Figura 5: Meta Heurísticas.....	49
Figura 6: Logo Proquimco S.A.S.....	52
Figura 7: Ubicación de los clientes	56
Figura 9: Tiempo computacional vs instancias.....	86
Figura 10: Iteraciones vs instancias	87
Figura 11: Costo total vs Instancias	88
Figura 12: Relative Gap	88
Figura 13: Resultados obtenidos.....	91

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Horario de servicio</i>	53
Tabla 2. <i>Ficha técnica del vehículo JAC 1050 2015</i>	57
Tabla 3. <i>Pinturas Dekora</i>	59
Tabla 4. <i>Estucos Duraflex</i>	60
Tabla 5. <i>Pegadur y Boquilla</i>	61
Tabla 6. <i>Tubería Sanitaria Liviana (Tuvinil)</i>	62
Tabla 7. <i>Salarios de los trabajadores</i>	64
Tabla 8. <i>Costos fijos</i>	67
Tabla 9. <i>Costo combustible</i>	68
Tabla 10. <i>Costos variables</i>	70
Tabla 11. <i>Encabezado de tabulación</i>	72
Tabla 12. <i>Ruta día 1</i>	73
Tabla 13. <i>Ruta Día 2</i>	74
Tabla 14. <i>Ruta Día 3</i>	75
Tabla 15. <i>Ruta Día 4</i>	76
Tabla 16. <i>Ruta Día 5</i>	77
Tabla 17. <i>Ruta Día 6</i>	78
Tabla 18. <i>Encabezado de la tabulación 2</i>	85
Tabla 19. <i>Resultados de instancias</i>	85
Tabla 20. <i>Resultados del modelo</i>	89
Tabla 21. <i>Mejor resultado</i>	90

Lista de Anexos

Anexo 1: Solicitud de Pedidos.....	99
Anexo 2: Entrada – remisión	99
Anexo 3: Lista de clientes.....	100
Anexo 4: Ruta # 1	101
Anexo 5: Ruta # 2	102
Anexo 6: Ruta # 3	103
Anexo 7: Ruta # 4	103
Anexo 8: Ruta # 5	104
Anexo 9: Ruta # 6	105
Anexo 10: Historial de compra (Semana).....	106
Anexo 11: Tiempos de Servicio.....	107
Anexo 12: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 1)	108
Anexo 13: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 2)	109
Anexo 14: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 3)	110
Anexo 15: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 4)	111
Anexo 16: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 5)	112
Anexo 17: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 6)	113
Anexo 18: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 7)	114
Anexo 19: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 8)	115
Anexo 20: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 9)	116
Anexo 21: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 10)	117
Anexo 22: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 11)	118
Anexo 23: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 12)	119
Anexo 24: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 13)	120
Anexo 25: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 14)	121
Anexo 26: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 15)	122
Anexo 27: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 16)	123

Anexo 28: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 17)	124
Anexo 29: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 18)	125
Anexo 30: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 19)	126
Anexo 31: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 20)	127
Anexo 32: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 21)	128
Anexo 33: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 22)	129
Anexo 34: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 23)	130
Anexo 35: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 24)	131
Anexo 36: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 1)	132
Anexo 37: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 2)	133
Anexo 38: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 3)	134
Anexo 39: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 4)	135
Anexo 40: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 5)	136
Anexo 41: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 6)	137
Anexo 42: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 7)	138
Anexo 43: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 8)	139
Anexo 44: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 9)	140
Anexo 45: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 10)	141
Anexo 46: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 11)	142
Anexo 47: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 12)	143
Anexo 48: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 13)	144
Anexo 49: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 14)	145
Anexo 50: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 15)	146
Anexo 51: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 16)	147
Anexo 52: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 17)	148
Anexo 53: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 18)	149
Anexo 54: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 19)	150
Anexo 55: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 20)	151
Anexo 56: Ruta 1 Arrojada por GAMS	152
Anexo 57: Ruta 2 Arrojada por GAMS	152

Anexo 58: Ruta 3 Arrojada por GAMS	153
Anexo 59: Ruta 4 Arrojada por GAMS	153
Anexo 60: Ruta 5 Arrojada por GAMS	154

Resumen

El siguiente proyecto consiste en diseñar un modelo matemático de programación entera mixta o MIP (por sus siglas en inglés Mixed Integer Programming) a un problema de ruteo de vehículos con restricciones de tiempo, capacidad y flota homogénea presente en la empresa Proquimco S.A.S de tal manera que se logre solventar mediante el Software de Modelación Algebraica General o GAMS (por sus siglas en inglés General Algebraic Modeling Software).

Para el cumplimiento de esta meta se realiza investigación y consulta bibliográficas e internas en la empresa, buscando el mejor modelo enfocado hacia GAMS, enriqueciendo además la contextualización del problema al que se afronta. Todos los conceptos, modelos y métodos expresados a lo largo del documento, son de gran importancia y llevan implícito en si obtener las soluciones óptimas.

Los problemas de ruteo de vehículos hoy en día han tomado gran relevancia para las empresas que utilizan medios de transporte para la entrega de su producto final, debido a que es en ese momento cuando el cliente concluye y califica el servicio prestado, provocando muchas veces lealtad o descontento en los mismos.

Palabras clave: modelo de simulación, métodos de solución, investigación operativa, flotas de transportes.

Abstract

The next project is to design a mathematical model of Mixed Integer Programming (MIP) to a problem of routing of vehicles with restrictions of time, capacity and homogeneous fleet present in the company Proquimco SAS in such a way That can be solved through the General Algebraic Modeling Software or GAMS.

In order to fulfill this goal, research and consultation are carried out within the company, searching for the best model focused on GAMS, and enriching the contextualization of the problem to which it is confronted. All the concepts, models and methods expressed throughout the document are of great importance and imply in obtaining the optimal solutions.

The problems of routing of vehicles nowadays have taken great relevance for the companies that use means of transport for the delivery of their final product, because it is at that moment when the customer concludes and qualifies the service rendered, provoking many times loyalty or discontent in them.

Keywords: simulation model, solution methods, operational research, transport fleets.

Introducción

El sistema de transporte es uno de los mecanismos relevantes para la mayoría de las empresas, así mismo es uno de los factores trascendentales en la satisfacción de los usuarios. Sin embargo, eleva los costos logísticos en gran manera sino se utiliza adecuadamente. Por tal razón, la disminución en los costos de transporte significa una gran ayuda para las industrias (Alvarez, 2014). De igual manera Katiyar (2014) afirma que el uso eficiente de los vehículos afecta directamente dichos costos de un 40% a un 50% del dinero gastado en los envíos, es decir, el manejo inadecuado de estos recursos incide directamente en el incremento de costos. Esto se debe a que el transporte no agrega valor al producto, sino por el contrario lo disminuye, por ende se debe manejar de forma eficiente (Quesada-Pineda, Buehlmann & Arias, 2012).

Las principales causas que permiten el incremento de los costos se debe en muchas ocasiones a la inexperiencia de los conductores, los vehículos en mal estado y la elección de rutas inadecuadas, alcanzando unos impactos negativos como son las altas distancias recorridas, pérdida de clientes (tardanza e incumplimiento) e incrementando gastos; por lo antes mencionado, se sabe que el transporte es un componente de consideración en las empresas, donde se identifica el problema, el cual es encontrar el conjunto de rutas que satisfagan los requerimientos de los clientes obteniendo un mínimo costo total (Ezzatneshan, 2015).

Una de las herramientas empleadas para mejorar la eficiencia del uso de vehículos en la distribución de mercancías es el problema de ruteo de vehículos (Vehicle Routing Problem - VRP), el cual es uno de los principales problemas de optimización combinatoria (Ezzatneshan, 2015). Este tipo de problemas es difícil de resolver, y más aún si la cantidad de cliente es elevada (Tavakkoli-Moghaddam, Gazanfarí, Alinaghian, Salamatbakhsh & Norouzi, 2011). Para ayudar a solventar los VRP, existen métodos exactos y aproximados; donde los primeros se caracterizan por arrojar resultados óptimos empleando herramientas que facilite el estudio del espacio de búsqueda, estos métodos incluyen los que se basan en técnicas como ramificación y acotamiento, planos cortantes y programación lógica de restricciones (Daza, Montoya & Narducci, 2009). Los

últimos se caracterizan por arrojar resultados parcialmente óptimos o muy cercanos al óptimo y estos son, las heurísticas y las meta heurísticas, donde las primeras se dividen en tres categorías principales: algoritmos constructivos, de dos fases y de mejora (García, 2010). También se puede encontrar el recocido simulado, recocido determinístico, búsqueda tabú y algoritmos genéticos, sin embargo, la incertidumbre del nivel de optimalidad de los métodos aproximados en los problemas de optimización realizados en aplicaciones reales presenta una desventaja comparándolo con los métodos exactos (Baños, Ortega, Gil, Fernández & De Toro, 2013).

En el capítulo 1 se presentan la información puntual que guarda relación con el tema de estudio, enfocándose principalmente en datos logísticos, problemas de ruteo, y temas que son de gran importancia al momento de emprender el desarrollo del trabajo en general. Después de la inspección y búsqueda exhaustiva de información se plasma lo que toma mayor relevancia en relación a todo lo que se involucra en la evolución del mismo.

Continuando con el capítulo 2, se encuentran los problemas de ruteo de vehículos principales que se presentan en casos de la vida real, aquí se hace una exhaustiva búsqueda de los métodos más conocidos relacionados con la distribución, consolidando con este una inicialización concisa de aplicación, donde se ilustran los distintos métodos de solución, como las heurísticas, meta heurísticas y métodos exactos que aportan una óptica más compleja y completa que derive en un mejor desarrollo y toma de decisiones adecuadas en consecución al objetivo esperado.

Posteriormente en el capítulo 3 se realiza la caracterización de la empresa a la que va enfocada la investigación, en la cual se ubica la especificación de los procesos de distribución y razón social, así también como sus distintos productos, especificaciones de los clientes, ficha técnica del vehículo y los costos en que se incurre al ejercer la actividad comercial.

Al encontrar el problema de ruteo que se amolde más a las distintas restricciones que se presentan en el capítulo anterior, este se centra principalmente en la investigación del método escogido, la apropiación del mismo y la complementación en base a lo deseado, para llegar así al

molde y completo desarrollo, mediante la codificación en el Software de Modelado Algebraico General o GAMS.

Finalmente, uno de los puntos fundamentales es la resolución del problema que se ilustra en el capítulo 5, donde se presentan algunas pruebas con pequeñas instancias, posteriormente los datos arrojados por GAMS, y finalmente se hacen las respectivas conclusiones del proceso de resolución del problema de estudio.

1. Objetivos

1.1. General

Diseñar un modelo matemático de programación entera mixta a un problema de ruteo de vehículos con restricciones de tiempo, capacidad y flota homogénea presente en la empresa Proquimco S.A.S mediante GAMS.

1.2. Específicos

- ✓ Desarrollar una revisión bibliográfica del problema en estudio, con el fin de hacer un análisis detallado de su conceptualización.
- ✓ Caracterizar los procesos de distribución de los productos en la empresa Proquimco S.A.S, con la finalidad de analizar su sistema de rutas.
- ✓ Formular un modelo matemático de programación entera mixta a un problema de ruteo de vehículos con restricciones de tiempo, capacidad y flota homogénea mediante el desarrollo de la revisión bibliográfica con el propósito de obtener mejores resultados con respecto a la empresa.
- ✓ Determinar las soluciones óptimas del modelo propuesto mediante el Software GAMS dirigido a la minimización de los costos.
- ✓ Validar el modelo de aplicación a partir de la comparación de resultados entre la empresa y los arrojados por GAMS para verificar la eficiencia de los resultados.

2. Revisión Bibliográfica

2.1. Logística

Un sistema logístico busca agregar valor a los bienes y servicios en lo referido a la entrega de los productos al consumidor en cuanto a tiempo y lugar adecuado, teniendo en cuenta que no solo se debe hacer entrega de un producto con calidad sino que también se debe prestar un excelente servicio, esto se debe a las exigencias de los consumidores (Sarache, Tamayo, & Builes, 2007).

Una definición clara de logística, la presenta Velazquez (2012) en su investigación, donde afirma que logística son todos los procesos que ayudan a la empresa a administrar las materias primas y los productos finales tanto en la producción como en la distribución de dichos bienes por medio de programación y recorridos adecuados, con el menor costo posible; donde intervienen procesos de control de inventario para determinar la cantidad de materia prima, producto en proceso y terminado, como se debe tener y disponer de estos. Sin embargo no serviría de nada controlar dicha estrategia de control de inventario y fracasaría el proceso si los productos no llegaran a tiempo al consumidor, en forma y condiciones pertinentes (González, 2013).

Otra definición de logística menciona la mejora del proceso de flujo de las materias primas, bienes y servicios en cuanto a planificar, operar, controlar y detectar su mejor uso en la empresa; es el proceso que integra las actividades de aprovisionamiento o suministro y la distribución de bienes al consumidor (Carro & Gonzalez, 2012).

El proceso de la logística debe coordinarse de tal forma que se puede alcanzar una mayor eficiencia en la totalidad del sistema de producción, por lo cual no debe considerarse a la logística como un proceso aislado, sino como un complemento al desarrollo global de valor agregado a los consumidores, es decir, la integración de un conjunto de actividades que beneficia al cliente final (velocidad de la entrega) y a la empresa (reducción de costos) (Monterroso, 2000). La logística

tiene una serie de actividades que se complementan entre sí para obtener como objetivo final, la satisfacción del cliente final gracias a la entrega a tiempo de bienes y servicios. Estos procesos inician desde la compra y recepción de mercancías hasta su fabricación y distribución (Véase Figura 1).

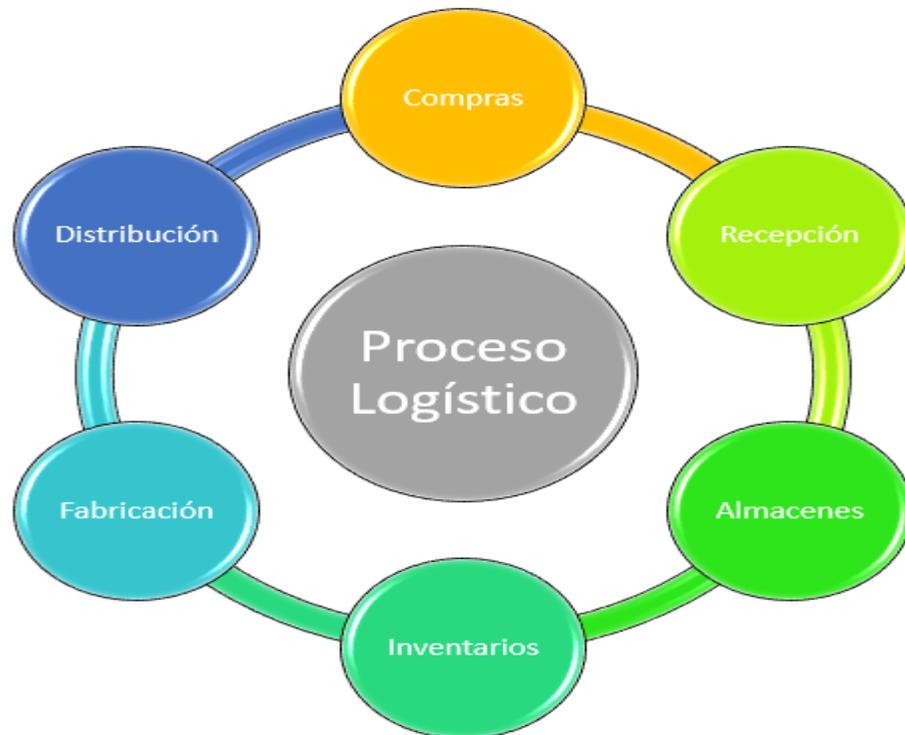


Figura 1. Proceso logístico.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Monterroso (2000).

Como se muestra en la Figura 1, la distribución finaliza el proceso logístico, esta actividad es de gran relevancia por su significancia en la eficacia y eficiencia del sistema económico de la empresa (Díez de castro & Navarro, 2005).

2.1.1. Distribución.

La distribución es el último eslabón del proceso logístico de una organización y abarca actividades desde el cargue y descargue de mercancías a los vehículos en los centros de acopios o depósitos hasta los distintos puntos de ventas, con el objetivo de prever cualquier inconveniente y

conseguir que los productos estén justo en el momento y lugar que el cliente los solicite con los mínimos costos; la distribución logística se puede convertir en un punto clave de competencia para la organización en el mercado (Lozada & Cadena, 2012).

La distribución se puede definir como la operación que consiente el traslado de bienes desde su proceso final de producción hasta su despacho y consumo, el cual abarca un conjunto de tareas necesarias para el abastecimiento de los clientes con los productos terminados, los cuales deben presentar condiciones de tiempo, forma, cantidad y lugar adecuado (Díez de castro & Navarro, 2005).

Según Velazquez (2012), estos son algunos de los beneficios que la distribución puede ofrecerle a las empresas:

- ✓ Servicio al cliente: La mejora de los servicios mediante los sistemas logísticos adecuados logra optimizar la distribución y así proporcionar a los usuarios una mejor atención en el desarrollo de esta actividad.
- ✓ Costos de distribución: La reducción de dichos costos es posible gracias a la eficiente administración de los procesos de distribución.
- ✓ Volúmenes de ventas: la planeación estratégica integrada en el sistema, permite reducir las condiciones de faltantes en los inventarios, promocionando a los vendedores en la expansión del mercado.
- ✓ Estabilizar precios: el manejo adecuado de la infraestructura de la empresa y el manejo cauteloso de los bienes ayudan a estabilizar los precios de manera individual o global.
- ✓ Administración del tráfico: utilizar una óptima administración del tráfico puede garantizar una reducción en los costos, para esto se buscan las rutas más rápidas y menos congestionadas.

Como se mencionó previamente, un buen uso de este proceso logístico puede traer muchas ventajas, pero en caso de no realizar una adecuada gestión esta incurre en pérdida de dinero, aumentando costos. Por eso muchas empresas apuestan a mejorar su sistema de distribución de

mercancías ya que es uno de los problemas de optimización por los que se opta a solucionar hoy en día (Ezzatneshan, 2015).

El inicio de la gestión y organización de la distribución demanda disponer de tecnologías eficientes de optimización de las rutas; en lo cual, este sistema, además de afectar el desarrollo de operaciones, también afecta las decisiones tácticas y las estrategias como la asignación óptima de la cantidad de vehículos, valoración de costos, entre otras (Medina & Yepes, 2000).

2.2. Optimización

Según Vazquez (2012) la optimización es el proceso de concertar los inputs (entradas) a las características de un modelo o experimento y de esta manera hallar los outputs (salidas) o las soluciones mínimas o máximas.

Según Guasmayan-Guasmayan (2014) el significado de optimización es hallar el mejor valor, el mínimo cuando se busca minimizar y el máximo cuando se busca maximizar, de una función objetivo descrita en un modelo matemático que se limita a una serie de restricciones.

Los problemas de optimización se derivan de situaciones a solucionar o modelos particulares, en donde la modelación matemática según Herazo (2012) se fundamenta en la personalización por medio de símbolos que idealiza una circunstancia o problema por medio de términos matemáticos, la importancia del modelo radica en facilitar los estudios problemas, análisis y funcionamiento de un sistema, ya que representa matemáticamente un escenario de la vida real. La palabra modelo encuentra sus orígenes en el término italiano “modello”, y hace referencia a aquello que se toma como ejemplo para tratar de procesar algo similar, el cual también puede representarse mediante símbolos (RAE, 2012).

Los elementos que componen la estructura de los problemas de optimización son los siguientes:

2.2.1. Función Objetivo.

La función objetivo define cuantitativamente la medida eficiencia del modelo en función de las variables de decisión; la solución óptima es aquella que arroja el mejor valor en la función objetivo mientras cumpla las limitaciones en las que se rige el problema (Lazaro, 2013). La función objetivo está ligada a modelo del sistema que se pretende optimizar, por ejemplo, la minimización de los costos variables de un sistema de distribución, la maximización de la utilidad de un sistema de producción.

2.2.2. Variables de Decisión.

Las variables de decisión son incógnitas que se definen por ser cuantificables que emprenden el caso de estudio, las cuales deben ser predeterminadas a partir de la resolución del modelo (Pérez, Lario, & Alemany, 2010). A base de ejemplo se tiene la cantidad de productos a enviar de una planta de producción a un almacén de recepción, tal que satisfaga las necesidades a niveles óptimos.

2.2.3. Parámetros.

Para la construcción de los parámetros se requiere de la recolección de los más principales datos del caso de estudio, ya que estos simbolizan los valores que se conocen del sistema, por lo antes mencionado estipular el valor de los parámetros representa un gran reto en la construcción de un adecuado modelo matemático, para la recolección de estos, se debe hacer posteriormente una validación para así garantizar la confiabilidad y pertinencia del modelo (Herazo, 2012).

2.2.4. Restricciones.

Las restricciones hacen parte de las delimitaciones del modelo las cuales debe restringir los valores de las variables de decisión a aquellos que se consideran posibles (Pérez et al., 2010). Unos

ejemplos claves a mencionar es la capacidad de producción en una planta por jornada laboral, tiempo de uso por máquina, tiempo de servicio para los clientes, etc.

Entre los problemas de optimización, uno de los que más resalta es el problema de ruteo de vehículos que tiene sus orígenes a finales de la década de los 50 al igual que la mayoría de sus variantes (Archetti, Feillet, Gendreau, & Speranza, 2011).

2.3. Problema de ruteo de vehículos

La primera vez que fue propuesto el problema de ruteo de vehículos es en el año 1959 por Dantzing y Ramser (Iqbal, Kaykobad & Rahman, 2015). A partir de su introducción se hicieron muchos estudios dando a conocer que es un tipo de problema de optimización combinatoria que se produce con frecuencia en aplicaciones de la vida real, como el transporte, la logística y la programación (Baños et al., 2013). Su principal objetivo es servir a todos los clientes que imponen una demanda limitada con el mínimo número de vehículos o costo total (Jawarneh & Abdullah, 2015). Según Katiyar (2014) el VRP se ocupa de encontrar el conjunto mínimo de rutas, comenzando y terminando en el depósito central, de una flota de vehículos homogéneos que sirven a un número de clientes con exigencias de un bien de tal manera que se conserva la restricción de capacidad.

Posteriormente surgieron los diferentes tipos de variantes que incluye una larga familia de problemas de optimización, tales como el CVRP (problema de ruteo de vehículos capacitado), en 1969 se descubre que la capacidad de la flotilla se convierte en una restricción, en esta variante los vehículos son similares y parten de un depósito central, se halla el conjunto de trayectos con mínimo costo definido como el total de los costos de los recorridos, de tal manera que cada cliente sea visitado por un vehículo y la cantidad total de las demandas de este no supere su capacidad; cuando los costos de ir de un punto i a un punto j son diferentes de ir de j a i , se conoce como matriz de costos asimétricos (AVRP) (Guasmayan-Guasmayan, 2014).

Consecutivamente se habla de VRP heterogéneo (HVRP) refiriéndose a cuando la compañía utiliza diferentes tipos de vehículos y las rutas tienen que ser diseñadas de acuerdo a la capacidad de cada vehículo (Cáceres-Cruz, 2013).

Posteriormente surge el VRPTW o problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo en el año 1977, se ocupa de un intervalo de tiempo predefinido llamado ventanas de tiempo; en este escenario, un vehículo puede visitar un lugar sólo en una ventana de tiempo especificada (Jawarneh & Abdullah, 2015).

En el VRP de recogida y entrega (PDVRP) cada cliente está asociado a dos cantidades, lo que representa una demanda a entregar y otro la demanda que se recoge a los clientes y devuelto al depósito; entre tanto en el VRP de entrega dividida (SDVRP) algunos clientes pueden ser servidos por diferentes vehículos si esto reduce el total de los costos; esta relación del problema básico es importante en los casos donde el pedido de los clientes puede ser mayor a la capacidad de los camiones (Cáceres-Cruz, 2013).

Muchos investigadores han resuelto un problema diferente con diversas variantes del problema original, tales como las que se presentan a continuación:

En la investigación de Baños et al. (2013) Se trabaja de una variante Multi-objetivo del VRPTW que minimiza simultáneamente la distancia recorrida y el desequilibrio de las rutas; este desequilibrio se analiza desde dos puntos de vista: el desequilibrio en las distancias recorridas por los vehículos, y el desequilibrio en las cargas entregadas por ellos.

Tavakkoli-Moghaddam et al. (2011) presentan una extensión de un problema de rutas para vehículos competitivos con ventanas de tiempo (VRPTW) para encontrar rutas cortas con los gastos de desplazamiento mínimo y máximo de venta al proporcionar un buen servicio a los clientes antes de la entrega de los productos por otros distribuidores rivales. Para resolver el problema propuesto se desarrolla un modelo matemático, utilizando un enfoque de recorrido simulado.

Vidal, Crainic, Gendreau & Prins (2013) presentan una búsqueda genética híbrido, eficiente con el control de la diversidad avanzada para una amplia clase de problemas de enrutamiento de vehículos con limitaciones de tiempo y la introducción de varias nuevas características para gestionar la dimensión temporal. Se proponen técnicas de evaluación y nuevo movimiento, lo que representa soluciones no factibles penalizadas con respecto a la ventana de tiempo y de duración.

La investigación de Melián-Batista, De Santiago, Angelbello & Alvarez (2014) está motivado por un problema real de una empresa en Tenerife, España. Dada una flota de vehículos, tienen rutas diarias que ser diseñado con el fin de minimizar la distancia total recorrida y equilibrar la carga de trabajo de los conductores. Este equilibrio se ha definido en relación a la longitud de las rutas, con respecto al tiempo requerido. Se propone un modelo lineal mixto entero bi-objetivo para el problema y un enfoque de solución, basada en la meta heurística búsqueda de dispersión.

Las investigaciones previamente mencionadas muestran el uso de los problemas de ruteo de vehículos en algunos casos particulares y casos de la vida real, como es el problema en Tenerife, España. Esto demuestra que los problemas de la vida real en lo que se refiere a la distribución, se puede solucionar de manera adecuada haciendo una caracterización de los procesos e identificando las situaciones que se pretende solucionar o mejorar, una vez realizados estos pasos, se hace uso de algoritmos que ayuden a su resolución para así obtener mejores resultados. Al igual que el ejemplo anterior, se pretende resolver un problema de distribución en una empresa ubicada en Sincelejo, Colombia. Donde se quiere minimizar el costo de transporte y abastecimiento de mercancías hacia los clientes, de manera que se mejore los trayectos de recorrido.

3. Tipos De Problemas De Ruteo Y Métodos De Solución

3.1. Problema del Agente Viajero (TSP)

El problema del agente viajero o TSP por sus siglas en inglés Traveling Salesman Problem, que es el más simple de los problemas de optimización combinatoria; este problema consiste en un agente o vehículo con capacidad infinita que parte de una ciudad de origen, desea visitar todas las n ciudades en una sola ruta y luego regresar al punto de origen, el objetivo del agente es hacer todo el recorrido con la menor distancia (costo, tiempo, etc.) total de viaje; donde cabe resaltar que no existen restricciones temporales (Alvarez, 2014).

El problema presenta un conjunto $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ que representa las ciudades y un conjunto A que son los arcos que representan las distancias, tiempos o costos entre ciudades a través de una matriz de costo de tamaño $N \times N$ de tal forma que cada arco tiene establecido un costo c_{ij} .

La formulación de este problema se representa mediante Programación Lineal Entera (PLE) como lo expresa Guasmayan-Guasmayan (2014) en su artículo y contiene las siguientes restricciones:

$$\text{Min} \sum_{i,j \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{S. a.} \sum_{i: i,j \in A} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j: i,j \in A} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in A} x_{ij} \leq |R| - 1, \forall S \in N, |R| > 1 \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in N \quad (5)$$

El modelo del TSP cuenta con la ecuación (1) que representa la Función Objetivo (FO) que representa el costo de desplazarse de una ciudad a otra. La ecuación (2) garantiza que cada cliente sea visitado una vez. La ecuación (3) indica que todas las ciudades deben ser visitadas. La ecuación (4) asegura que no ocurran sub-rutas para cada recorrido R, en la visita del agente o vehículo sobre las diferentes ciudades, no permitiendo la existencia de bucles infinitos entre ellas. La ecuación (5) define la naturaleza de la variable del problema e indica que es binaria.

3.2. Problema m Agentes Viajeros (m-TSP)

El problema de m agentes viajeros o m-TSP por sus siglas en inglés Múltiple Traveling Salesman Problem, es una generalización del TSP, donde se tiene un único depósito, n clientes y m agentes o vehículos; el objetivo del m-TSP es el de construir m rutas para cada agente o vehículo de manera que cada cliente sea visitado exactamente una vez por un solo vehículo o agente, donde cada ruta debe iniciar y finalizar en el depósito.

El problema puede formularse mediante PLE tomada de Daza et al. (2009) y contiene las siguientes restricciones:

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

$$\text{S. a.} \sum_{j \in A} x_{0j} = m \quad (7)$$

$$\sum_{i \in A} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (8)$$

$$\sum_{j \in A} x_{ij} \geq 1 \quad \forall i \in N \quad (9)$$

$$Rx_{ij} \leq R - 1 \quad \forall \{i, j\} \in A, i \neq 0, j \neq 0 \quad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i, j) \in N \quad (11)$$

Este modelo es parecido al modelo presentado anteriormente (TSP). Donde la ecuación (6) es la FO y representa los costos que se busca minimizar. La ecuación (7) indica la cantidad de agentes o vehículos que parten del depósito, por lo tanto, debe existir m rutas. Las ecuaciones (8) y (9) garantizan que cada cliente es un nodo intermedio en cada ruta de los agentes o vehículos. La ecuación (10) elimina las sub-rutas y asegura que en cada ruta no haya más que R clientes. Y finalmente la ecuación (11) indica que la variable es binaria (Olivera, 2004).

3.3. Problema de Ruteo de Vehículos con restricciones de capacidad (VRP – CVRP)

El problema de ruteo de vehículos o VRP por sus siglas en inglés Vehicle Routing Problem, es un nombre genérico dado a toda clase de problemas que diseñan unas rutas óptimas para una flota de vehículos que sirven a un conjunto de clientes con demanda y localización geográfica conocida, sujeto a varias restricciones (Baldacci, Mingozzi, & Roberti, 2012). El VRP tiene una gran cantidad de casos de estudios gracias a su importancia en la distribución logística y en la cadena de suministros (Donati, Montemanni, Casagrande, Rizzoli, & Gambardella, 2008). Según la investigación de Castro, Landa, & Moreno (2013) muchos de las variantes de estos problemas incluyen aspectos relevantes que son inspirados en circunstancias reales que pueden acontecer de forma concurrente en aplicaciones prácticas.

El VRP se describe como un grafo dirigido $G = (N, A)$ donde los clientes o nodos son representados por $N = \{n_0, n_1, n_2, \dots, n_n\}$ y los arcos son representados por $A = \{(c_i, c_j) : i \neq j\}$. Para este modelo, n_0 es el depósito central o centro de acopio mientras que n_1 hasta n_n son los clientes o nodos que deben ser servidos; a cada cliente o nodo se le asocia una cantidad d_i de bienes a entregar. Cada arco (c_i, c_j) es asociado a un costo c_{ij} , que representa el costo o distancia entre los clientes o nodos. Cada ruta inicia y finaliza en el depósito central o centro de acopio n_0 ,

los clientes o nodos deben ser visitados exactamente una vez, y la cantidad de bienes a entregar en toda la ruta nunca debe exceder la capacidad Q de los vehículos K (Bin, Zhong-zhen, & Baozhen, 2009).

Este problema está conformado de tal forma para cumplir las siguientes asunciones como lo expresa Cattaruzza, Absi, Feillet, & Vidal (2014) en su artículo:

- ✓ Cada ruta debe iniciar y terminar en el depósito central o centro de acopio.
- ✓ Cada cliente debe ser visitado exactamente una vez por un solo vehículo.
- ✓ El peso de las sumatorias de las demandas de los clientes, no deberán exceder la capacidad máxima del vehículo.

Este problema contiene los siguientes parámetros:

n : Es el conjunto de clientes más el depósito central o centro de acopio $\{1, 2, 3 \dots N\}$.

k : Es la flota de vehiculos $\{1, 2, 3 \dots k\}$.

Q : Es la capacidad del vehículo $k \in K$ representada en Kg .

C_{ij} : Es la distancia entre los clientes $i \in N$, $j \in N$ representado en Km .

d_i : Es la demanda de los clientes $j \in N_c$ representado en número de productos.

X_{ijk} : Variable binaria, (1) si el vehículo $k \in K$ viaja del cliente $i \in N$ al cliente $j \in N$, y (0) en caso contrario.

El problema puede formularse mediante PLE tomada del artículo de los autores Bae & Hwang (2007) y contiene las siguientes ecuaciones:

$$\text{Min} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk} \quad (12)$$

$$S. a. \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \quad (13)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{i \in N} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (14)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ijk} - \sum_{i \in N} x_{ijk} = 0 \quad \forall k \in K, \forall j \in N \quad (15)$$

$$\sum_{i \in N} d_i(x_{ijk}) \leq Q \quad \forall k \in K \quad (16)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in N \quad (17)$$

El modelo VRP está representado con la ecuación (12) que es la FO y representa los costos que se pretende minimizar. Las ecuaciones (13) y (14) garantizan que todos los clientes sean visitados exactamente una vez por un solo vehículo. La ecuación (15) asegura que la ruta inicie y termine en el depósito central. La ecuación (16) indica la restricción de capacidad de los vehículos, garantiza que la sumatoria del peso de las demandas no excede la capacidad del vehículo. Y finalmente la ecuación (17) define la naturaleza de la variable e indica que es una variable binaria.

Las diferentes variantes del problema de ruteo de vehículos (VRP) han sido estudiadas desde los últimos 50 años. Las variantes del VRP incluyen una larga familia de problemas de optimización específicos. Ellas se centran en una o pocas restricciones dentro de sus modelos matemáticos; y están separadas por líneas de investigación con sus respectivos abreviaciones, cada línea de investigación tiene identificado un acrónimo de la restricción considerada o el atributo dentro del problema de optimización (Cáceres-Cruz, 2013). Las variantes más representativas del Problema de ruteo de vehículos se presentarán a continuación:

3.4. Problema de Ruteo de vehículos con Entregas Divididas (SDVRP)

El problema de ruteo de vehículos con entregas divididas o SDVPR por sus siglas en ingles Split Delivery Vehicle Routing Problem tiene como objetivo hallar un conjunto de rutas con mínimo costo que sirva a los clientes al igual que el VRP; la diferencia entre los dos problemas es que, en el segundo, cada cliente requiere ser visitado por un solo vehículo, en el SDVRP cualquier número de visitas es permitido a cada uno de los clientes siempre y cuando esto minimice los costos; los costos de las rutas optimas del SDVRP pueden ser más pequeños en comparación al costo de las rutas optimas del VRP, en algunos casos el costo puede ser incluso la mitad de las rutas optimas del VRP (Archetti et al., 2011).

Según Sepúlveda, Escobar, & Adarme-Jaimes (2014) se define de tal manera que incluye las siguientes asunciones y restricciones:

Dado un número infinito de vehículos de capacidad Q de tal forma que todos son homogéneos, los cuales parten del almacén central; los cuales sirven a un conjunto de clientes con una demanda conocida de productos (la cual puede ser mayor a la capacidad de los vehículos); se pretende hallar los recorridos que suplan dichas necesidades (la cual puede ser dividida en varias entregas, por lo que los clientes pueden ser visitados por varios vehículos), iniciando y finalizando cada ruta en el almacén, donde cada ruta no puede exceder la capacidad de los vehículos establecidos con el objetivo de minimizar la distancia total recorrida, y se formula de la siguiente manera:

$$\text{Min} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk} \quad (18)$$

$$\text{S. a.} \sum_{i \in N} x_{iak} - \sum_{j \in N} x_{ajk} = 0 \quad \forall a \in N, k \in K \quad (19)$$

$$\sum_{k \in K} y_{ik} = d_i \quad \forall i \in N \quad (20)$$

$$\sum_{i \in N} y_{ik} \leq Q \quad \forall k \in K \quad (21)$$

$$d_i \sum_{j \in N} x_{ijk} \geq y_{ik} \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (22)$$

$$y_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (23)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in N, \forall k \in K \quad (24)$$

La función objetivo se describe en la ecuación (18) la cual tiene como objetivo minimizar el trayecto de los recorridos en los vehículos. La ecuación (19) mantiene del flujo en las rutas; la ecuación (20) garantiza la satisfacción de las demandas de cada uno de los clientes; la ecuación (21) asegura la limitante de capacidad de los vehículos garantizando que la cantidad de productos comercializados no supere la capacidad Q de cada vehículo; la ecuación (22) establece que los clientes son atendidos por los vehículos hasta la satisfacción total de su demanda. Las ecuaciones (23-24) define la no negatividad de las variables empleadas.

3.5. Problemas de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW)

El problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo o VRPTW por sus siglas en inglés Vehicle Routing Problem with Time Windows es una importante variante del VRP el cual consiste en realizar unas rutas con una flota de vehículos homogéneos (capacidades idénticas) que están en un depósito central o centro de acopio el cual opera bajo unas ventanas de tiempos. Los vehículos son utilizados para satisfacer totalmente la demanda de un conjunto de clientes dispersos geográficamente, donde cada ruta inicia y termina en el depósito central, y el total de la demanda (en peso y volumen) debe ser menor o igual a la capacidad máxima del vehículo, los clientes pueden ser atendidos exactamente una vez por un vehículo que tiene predefinido los

requerimientos tanto de bienes como de tiempos de servicios o ventanas de tiempo (Baños et al., 2013).

El VRPTW puede ser definido en un completo grafo $G = (V, A)$ en el cual $V = \{0, \dots, n + 1\}$ es el conjunto de vértices y $A = \{(i, j) | i, j \in V\}$ es el conjunto de arcos, donde cada arco (i, j) está asociado a un tiempo t_{ij} y costo de viaje c_{ij} , ambos son no negativos; también se tiene un conjunto K de vehículos con capacidad homogénea de tamaño q_k , los cuales debe atender n clientes, que se representa por los vértices $1, \dots, n$; para atender cada a los clientes, los vehículos deben partir del almacén, visita cada uno de ellos, y luego regresar al mismo; cada cliente i , tiene una demanda m_i que debe ser atendido por un único vehículo; además de eso, se adiciona a todos los vértices una ventana de tiempo $[e_i, l_i]$; este es el tiempo de servicio del vértice i el cual debe iniciarse dentro de ese intervalo; si el vehículo llega al cliente i antes de iniciar e_i , este debe esperar hasta que se abra la ventana; además de lo anterior, el vehículo no puede arribar a i después del instante l_i , ya que esto violaría la limitación de tiempo del problema; para cada vértice, existe un tiempo de servicio d_i ; el objetivo es minimizar el costo total de las rutas, en otras palabras, minimizar la sumatoria de todos los costos de recorrido (Ribas et al., 2011).

Según Jawarneh & Abdullah (2015) el VRPTW tiene las siguientes variables y parámetros:

X_{ijk} : Variable binaria, (1) si el vehículo $k \in K$ viaja del cliente $i \in N$ al cliente $j \in N$, y (0) en caso contrario.

t_i : Tiempo de arribo al cliente i .

w_i : Tiempo de espera del cliente i .

K : Número de vehículos.

N : Número de clientes (0 denota el almacén).

c_{ij} : Costo en que se incurre de ir de un cliente i al j .

t_{ij} : Tiempo de viaje entre los clientes i al j .

m_i : Demanda del cliente i .

q_k : Capacidad del vehículo k .

e_i : Tiempo de arribo más próximo al cliente i .

l_i : Tiempo de arribo más tardío al cliente i .

f_i : Tiempo de servicio al cliente i .

r_k : Tiempo de ruta máximo del vehículo k .

Donde presenta las siguientes formulaciones:

$$\text{Min} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk} \quad (25)$$

$$\text{S. a.} \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} x_{ijk} \leq K \quad \forall i \in N \quad (26)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} = \sum_{j \in N} \leq 1 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (27)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (28)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in N} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \quad (29)$$

$$\sum_{i \in N} m_i \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq q_k \quad \forall k \in K \quad (30)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ijk} (t_{ij} + f_i + w_i) \leq r_k \quad \forall k \in K \quad (31)$$

$$t_0 = w_0 = f_0 = 0 \quad (32)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in N} x_{ijk} (t_i + t_{ij} + f_i + w_i) \leq t_j \quad \forall j \in N \quad (33)$$

$$e_i \leq (t_i + w_i) \leq 1 \quad \forall i \in N \quad (34)$$

$$c_{ij} = \sqrt{(i_x - j_x)^2 + (i_y - j_y)^2} \quad (35)$$

La ecuación (25) es la función objetivo del problema VRPTW; la ecuación (26) indica el máximo de rutas o vehículos que parten del almacén; la ecuación (27) especifica que cada ruta debe iniciar y finalizar en el depósito; las ecuaciones (28) y (29) asegura que cada cliente es visitado una solo vez por exactamente un vehículo; las ecuaciones (30) y (31) define la capacidad y las limitaciones máximos de tiempos de viajes, respectivamente; las ecuaciones (32), (33) y (34) explica las ventanas de tiempos; y finalmente la ecuación (35) calcula los distancias de viajes.

3.6. Problema de Ruteo de Vehículos con Restricciones de Tiempos o VRPTC

El problema de ruteo de vehículos con restricciones de tiempos o VRPTC por sus siglas en inglés Vehicle Routing Problem with Time Constraint es una variante muy similar al VRP, donde se pretende servir a un conjunto de clientes que están geográficamente dispersos y estos solo pueden ser servidos solo una vez por un solo vehículo, estos inician y terminan la ruta en el depósito central, la capacidad considerada de los vehículos no puede ser excedida por las demandas de los clientes en peso ni volumen; además de estas asunciones, el VRPTC tiene una restricciones de tiempo que limita el uso del vehículo. en este modelo se pretende minimizar los tiempos de viajes y servicios a los clientes (Bae & Hwang, 2007).

De igual manera Bae & Hwang (2007) realiza una formulación para el VRPTC, que se presenta como un programa entero mixto, así:

$$Min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk} \quad (36)$$

$$S. a. \sum_{i \in K} \sum_{j \in N} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \quad (37)$$

$$\sum_{j \in K} \sum_{i \in N} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (38)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ijk} - \sum_{j \in N} x_{ijk} = 0 \quad \forall k \in K \quad (39)$$

$$\sum_{i \in N} d_i(x_{ijk}) \leq D_k \quad \forall k \in K \quad (40)$$

$$\sum_{i \in N} t_{ik} \sum_{j \in N} x_{ijk} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ijk} t_{ijk} \leq T_k \quad \forall k \in K \quad (41)$$

Donde:

K : Número de vehículos

N : Número de clientes

c_{ij} : Costo en que se incurre de ir de un cliente i al j

t_{ik} : Tiempo de llegada requerido en cada cliente

d_i : Demanda del cliente i

T_k : Capacidad del vehículo k

t_{ijk} : Tiempo requerido entre los clientes

3.7. Problema de Ruteo de Vehículos con Flota Homogénea, Restricciones de Capacidad y Tiempo o CVRP-HFTC

El CVRP-HFTC es una variante que nace de la combinación del CVRP y VRPTC anexándole la limitante de que todos los vehículos tienen la misma capacidad, es decir su capacidad es homogénea, el cual consiste en atender a un conjunto de clientes que están geográficamente esparcidos, con la condición que cada cliente solo se pueda servir solo una vez, donde estos tiene un tiempo de servicio prestablecido, y quien realiza esta actividad es solo un vehículo con capacidad limitada y prestablecida. Cada ruta debe iniciar y terminar en el almacén: el vehículo solo se emplea en la ruta durante un tiempo determinado, el cual es menor o igual a la sumatoria de las de los tiempos de recorrido entre clientes y los tiempos de servicio. Todo esto para minimizar el tiempo recorrido entre los clientes y minimizar los costos de transporte.

El modelo CVRP-HFTC puede definirse matemáticamente mediante un grafo dirigido G (N, A) , en el cual N conforma a un conjunto de vértices, los cuales se dividen en dos subconjuntos: $N_d = \{n_1, n_2, n_3 \dots n_d\}$ es el conjunto de almacén(es), y $N_c = \{n_1, n_2, n_3 \dots n_c\}$ es el conjunto de nodos o clientes a los cuales se debe satisfacer una necesidad, haciendo entrega de los productos que esté requiriendo. Por último $N = \{N_d + N_c\}$ es el conjunto de nodos o clientes incluyendo los depósitos o centros de acopio. Por otro lado A es el conjunto de arcos que interrelaciona a los nodos o clientes a través de una matriz de costo de tamaño $N \times N$ de tal forma que cada arco tiene establecido una distancia C_{ij} , donde el conjunto $A = \{i, j\}$.

En este modelo los recorridos son realizados por los vehículos K los cuales son de capacidad homogénea denominada Q_k que restringe el sistema, los vehículos inician y terminan su ruta en el almacén (N_d), en su recorrido deben satisfacer la demanda D_j de cada uno de los clientes (N_c), haciendo entrega de los productos, la cantidad de productos a entregar se calcula mediante pronósticos teniendo en cuenta el historial de compras de cada uno de los clientes.

En el recorrido, los clientes deben ser atendidos dentro de un tiempo máximo de recorrido del vehículo conocido como T_k el cuál es el tiempo máximo de uso del que se dispone de este; cada cliente tiene un tiempo de servicio TS_{jk} que es el máximo tiempo que puede durar el vehículo atendiendo a un cliente, y un tiempo de viaje entre cada cliente denominado como T_{ijk} el cual es el tiempo de recorrido que debe tardar el vehículo para viajar entre los clientes (N_c).

Este modelo está definido de tal forma que deba acaparar las siguientes restricciones:

- ✓ Cada ruta debe comenzar y finalizar en el almacén.
- ✓ Cada cliente debe ser servido una sola vez por un vehículo.
- ✓ No se puede sobrepasar la capacidad del vehículo en cuanto al peso máximo establecido.
- ✓ La sumatoria de los tiempos de servicio y transporte de una ruta no puede exceder el tiempo requerido de uso de un vehículo.

Por las particularidades propias del problema de ruteo de vehículos, se declaran los siguientes conjuntos:

N_d : Es el conjunto de los almacenes $\{n_1, n_2, n_3 \dots n_d\}$.

N_c : Es el conjunto de nodos o clientes $\{n_1, n_2, n_3 \dots n_c\}$.

N : Es el conjunto de todos los clientes más los almacenes $N = N_d \cup N_c$.

K : Es la flota de vehículos $\{1, 2, 3 \dots k\}$.

Q_k : Es la capacidad del vehículo $k \in K$ representada en Kg .

Cv_k : Es el costo variable por uso del vehículo $k \in K$.

C_{ij} : Es la distancia en km de viajar entre los clientes $i \in A, j \in A$.

D_p : Es la demanda a satisfacer del cliente entre los clientes $j \in N_c$ representado en la cantidad de productos.

T_{ijk} : Es el tiempo de viaje del vehículo k entre los clientes $i \in N, j \in N, k \in K$ representado en *min*.

Ts_{jk} : Es el tiempo servicio del vehículo $k \in K$ al cliente $j \in N_c$ representado en *min*.

T_k : Es el tiempo máximo de ruta del vehículo $k \in K$ representado en *min*.

X_{ijk} : Variable binaria, (1) si el vehículo $k \in K$ viaja del cliente $i \in N_c$ al cliente $j \in N_c$, y (0) en caso contrario.

La formulación para el CVRP-HFTC, se presenta como un programa entero mixto, de la siguiente manera:

$$\text{Min } Z: \sum_{k \in K} \sum_{i \in A} \sum_{j \in A} X_{ijk} (Cv_k C_{ij}) \quad (41)$$

$$\text{s. a. } \sum_{k \in K} \sum_{j \in N_c} X_{ijk} = 1; \quad \forall i \in N_c \quad (42)$$

La ecuación (42) garantiza que cada cliente es visitado solo una vez por un vehículo.

(43)

$$\sum_{j \in N_c} X_{iN_d k} = \sum_{i \in N_c} X_{N_d j k}; \forall k \in K, \forall N_d \in N$$

La ecuación (43) asegura que el vehículo inicie en el depósito central y debe finalizar en el mismo.

$$\sum_{i \in N_c} \sum_{j \in N_c} X_{ijk} D_j \leq Q_k; \forall k \in K \quad (44)$$

La ecuación (44) garantiza que no se violó la limitante de capacidad del vehículo.

$$\sum_{i \in N_c} \sum_{j \in N_c} X_{ijk} \leq D_j; \forall k \in K \quad (45)$$

La ecuación (45) garantiza que la cantidad de productos que se cargue al vehículo no será mayor que la demanda de los clientes.

$$\sum_{i \in N_c} T_{Sjk} \sum_{j \in N_c} x_{ijk} + \sum_{i \in N_c} \sum_{j \in N_c} x_{ijk} T_{ijk} \leq T_k \quad \forall k \in K \quad (46)$$

La ecuación (46) asegura que la suma del tiempo requerido para el servicio de los clientes y el tiempo requerido para viajar entre ellos, no exceda el tiempo máximo del cual se puede emplear el vehículo.

$$X_{ijk} \in \{0,1\}; \forall i \in A, \forall j \in A, \forall k \in K \quad (47)$$

Los problemas de ruteo de vehículos son en su mayoría difíciles de solventar y su dificultad aumenta con respecto al número de restricciones y clientes a suministrar como se menciona en Tavakkoli-Moghaddam et al., (2011) donde los métodos de solución que se emplean en la resolución a dichos problemas se clasifican en tres categorías y son: métodos exactos, heurísticas y meta heurísticas.

3.8. Métodos de Solución

Los métodos de solución en los problemas de ruteo de vehículos se pueden agrupar en 3 categorías, la cuales son las siguientes: métodos exactos, heurísticas y meta heurísticas. La figura 5 muestra los métodos mencionados, y a partir de ellos surgen varias clasificaciones que se exponen a continuación.

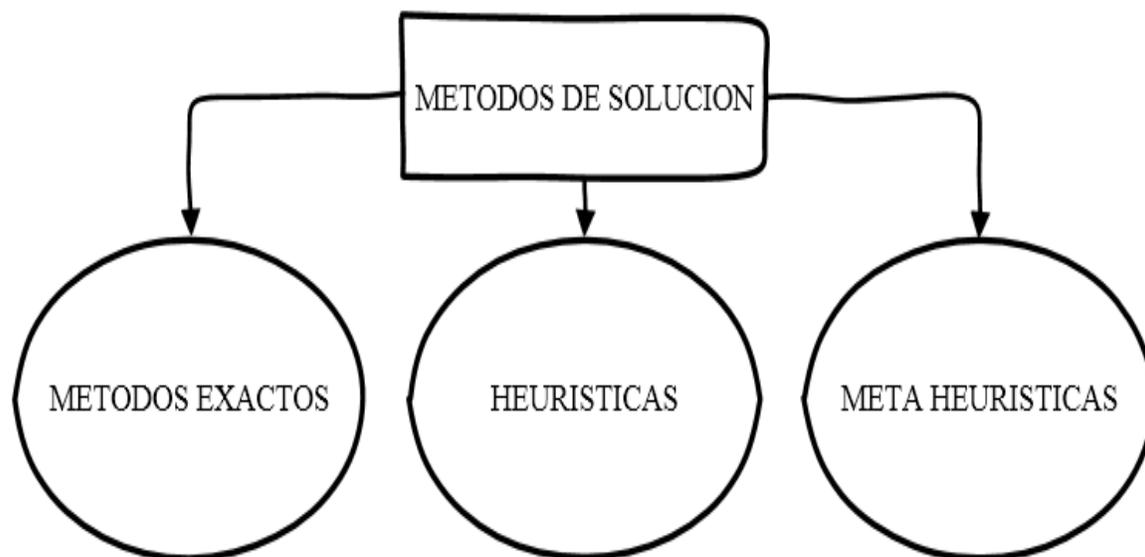


Figura 2. Métodos de solución.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Lüer, Benavente, Bustos, & Venegas (2009).

3.8.1 Métodos exactos.

Una vez se haya definido el modelo matemático a utilizar se continua con la solución, lo cual implica el uso de algoritmos de optimización especificados de tal manera que faciliten una solución eficiente del modelo. Con el uso de los algoritmos se puede probar la validez del modelo y comprobar que el modelo funcione adecuadamente conforme a sus parámetros (Mediorreal, 2014).

La figura 3 muestra los algoritmos de optimización más comunes que ayudan a resolver problemas de ruteo vehicular VRP de forma exacta.

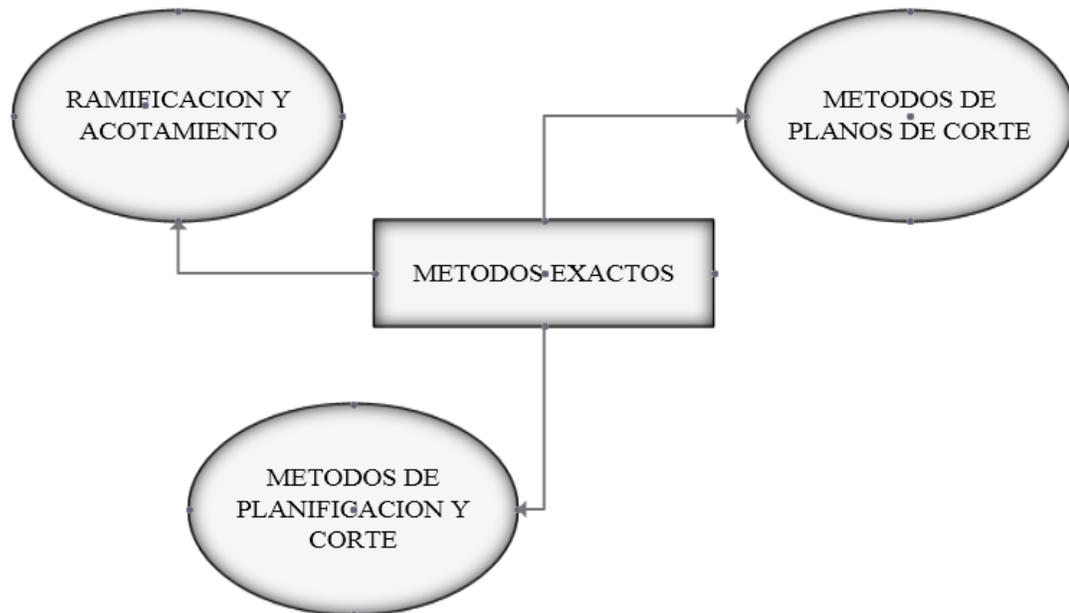


Figura 3. Métodos Exactos

Fuente: Elaboración propia, a partir de Damián & Di Piazza (2012)

3.8.1.1. *Ramificación y Acotamiento (Branch and Bound).*

Es un algoritmo que ayuda a resolver problemas de PLE por su manera eficiente de encontrar soluciones óptimas. Consiste en dividir un problema en varias partes más pequeñas (ramas) los cuales se hacen más fáciles solucionarlos, y luego se compone de sus soluciones para resolver el problema más grande (árbol). Este método permite simular la enumeración de todas las soluciones factibles; como su nombre lo indica, para realizar este proceso se deben tener en cuenta dos categorías como lo dice García (2015):

- ✓ Ramificar (Branch): El cual indica que cada conjunto de solución del problema puede ser subdividido.

- ✓ Acotar (Bound): El cual obtiene acotamiento inferior del costo de cada solución de las ramificaciones.

Este método es muy eficiente porque siempre encuentra una solución óptima, pero la eficiencia y la dificultad de implementación del algoritmo están sujetos al problema que se pretende resolver.

3.8.1.2. Métodos de Planos de Corte.

La base de este algoritmo se fundamenta en las técnicas de programación lineal, donde puede ser aplicado a una variedad de problemas. El esquema general del algoritmo inicia solventando la relajación del problema quitando las situaciones en que las variables sean enteras. El éxito de este método está ligado en gran manera a la posibilidad y eficiencia de hallar desigualdades vulneradas, las cuales se les llama planos de corte, las cuáles pueden ser anexadas a la formulación para así apartar las soluciones que no sean enteras (Damián & Di Piazza, 2012).

3.8.1.3. Métodos de Ramificación y Corte (Branch and Cut).

El algoritmo de ramificación y corte o Branch and Cut es una generalización del algoritmo de ramificación y acotamiento o Branch and Bound; donde se implementa una combinación de planos de corte y una enumeración implícita para solventar los problemas. La idea fundamental es descubrir las limitaciones asequibles. El objetivo de este algoritmo en la aplicación de cortes es obtener mejores cotas, y disminuir enormemente el tamaño del árbol (Bermeo Muñoz & Calderón Sotero, 2009).

Según Herazo (2012) GAMS ejecuta métodos como este en su solver Cplex para resolver algunos problemas de optimización. Emplear el Branch and Cut empleado por GAMS automatiza

todos los pasos importantes necesarios para definir, excitar y controlar el uso de rutinas definidas por el usuario dentro del marco de los códigos MIP de uso general (GAMS, 2017).

3.8.2. Heurísticas.

La palabra heurística encuentra sus orígenes de la palabra griega *heuriken* el cual su significado es “*descubrir*” que también viene de *eureka*, que proviene de la famosa exclamación de Arquímedes, *heurika* “lo encontré”; Estas técnicas son utilizadas con el objetivo de solucionar problemas complejos de manera eficiente, donde en ocasiones es inevitable implicar aspectos de optimalidad de manera que se construya un algoritmo que no garantice la solución óptima, pero si una adecuada que este dentro de los parámetros de optimalidad. Las técnicas heurísticas son consideradas como algoritmos simples las cuales realizan un proceso de búsqueda mejorando considerablemente los tiempos en la obtención de soluciones provechosas, las cuales ayudan a encontrar la ruta más adecuada, sirviéndose de guía en la implementación de dicho trayecto, esta es una ventaja en comparación a los algoritmos exactos por el tiempo en que se obtienen los resultados, sin importar la cantidad de clientes o nodos representados en el problema (Ramos, 2007).

La figura 4 muestra los métodos heurísticos más utilizados en problemas de ruteo vehicular que ayudan a resolver estos problemas de forma aproximada, los cuales se explican a continuación:



Figura 4. Heurísticas

Fuente: Elaboración propia, a partir de Vásquez Morales (2007)

3.8.2.1. Heurística del Vecino más Próximo.

Esta heurística se caracteriza por pertenecer a un grupo de algoritmos denominados “Greedy” los cuales son algoritmos simples que generalmente no arroja soluciones óptimas y puede que en ocasiones proporcione más de una solución.

Este grupo de algoritmos se rige por una regla principal que dicta el siguiente diseño tomado de la investigación de Calviño Martínez (2011):

1. Sea el conjunto de elementos elegibles y T el conjunto solución. Inicializar $T = \emptyset$.
2. Mientras $L \neq \emptyset$ o T no sea solución, hacer.
 - a) Elegir el “mejor” elemento de L (respecto de un criterio fijado a priori).
 - b) Hacer $L = L \setminus e$ y $T = T \cup e$

Según Ramos (2007) se hace referencia al algoritmo el vecino más cercano donde el patrón a seguir se rige de la siguiente forma:

1. Se empieza por un tour parcial trivial que contenga una ciudad cualquiera.
2. La próxima ciudad elegida es la más cercana a la última del tour siempre que no esté incluida en el tour.
3. Repetir el paso 2 (dos) hasta que todas las ciudades estén en el tour.

Cabe resaltar que este modelo es para resolver el problema del agente viajero (TSP), donde no existen restricciones de usos de tiempos o capacidad de vehículos y su objetivo es realizar una sola ruta donde se incluyan todas las ciudades o clientes a visitar.

3.8.2.2. Modelo de los ahorros (Clarke and Wright).

Este modelo se basa en la generación de solución para la elaboración de cada uno de los procedimientos, adicionando una alternativa a esta solución y resaltando que ambas soluciones puede que sean infectables, se procede a la comparación de ambas soluciones de manera iterativa hasta llegar a una solución factible (Vásquez Morales, 2007).

La más utilizada de estas técnicas de ahorro es la denominada Clarke and Wright, heurística que se aplica en la cual el número de vehículos no es fijo, el objetivo de este método consiste en fusionar dos trayectos en uno solo, con la condición que haya un ahorro de la variable a minimizar, ya sea costo, distancia o tiempo.

Para la consecución de este proceso se desarrollan tres fases fundamentales, las cuales se toman del artículo de (Bermeo Muñoz & Calderón Sotero, 2009).

Fase I: Calculo de ahorro.

- ✓ Se calcula el ahorro.
- ✓ Se crean los trayectos vehiculares.
- ✓ Se ordenan las rutas sin aumentar el ahorro.

Fase II: La mejor fusión factible.

Teniendo en cuenta los ahorros, se determina cuál de las dos rutas existentes pueden ser fusionadas:

- ✓ Se toma la primera ruta
- ✓ Se toma la segunda ruta

Se combinan las dos rutas formando una nueva ruta.

Fase III: Versión secuencial.

Se determina el ahorro que se pueda efectuar con la fusión de la ruta actual con otra nueva ruta. Luego se efectúa la fusión y se repite esta operación para la ruta actual, si no existen más fusiones posibles, se considera una nueva ruta y se aplica las operaciones realizadas anteriormente.

3.8.2.3. Método de Rutear Primero y Asignar Después (Routing First Clustering Second).

Esta heurística se desarrolla mediante dos fases, la primera fase (Routing) consiste en realizar un algoritmo donde se crea una ruta (parecido al TSP) incluyendo todos los clientes sin tener en cuenta la restricción de capacidad de los vehículos, la mejor forma de realizar la primera fase es empleando la heurísticas de construcción como la del vecino más cercano mencionada anteriormente; la segunda fase consta en agrupar (Clustering) de manera que se tenga en cuenta todas y cada una de las restricciones del modelo, esta fase consta en hacer sub-rutas donde se opta por hallar las mejores (Castañeda & Cardona, 2014).

3.8.2.4. Método de Asignar Primero y Rutear Después (Routing First Clustering Second).

Esta heurística consiste en agrupar los clientes de tal forma que todas las agrupaciones o Clusters sean de características similares tales como tiempos, distancias y costos, además se considera en cada grupo las restricciones tales como la capacidad del vehículo, luego se crea una ruta a cada uno de los Clusters de tal forma que todos los clientes sean visitados; este método puede dar resultados exactos o aproximados y este resultado depende de la cantidad de clientes de los Clusters (Rodríguez, 2013).

3.8.3. Meta Heurísticas.

Los métodos meta heurísticas permiten explorar un mayor espacio de soluciones a problemas de optimización y ayudan a obtener mejores resultados en cuanto a soluciones en comparación a los métodos heurísticos, y con menor tiempo con respecto a los métodos exactos (Castañeda & Cardona, 2014). Las meta heurísticas tienen un papel fundamental en la investigación de operaciones aplicables en la vida real con problemas de optimización; estos métodos se basan en la observación de la naturaleza, la evolución biológica y de algunos procesos físicos (Lüer et al., 2009).

La figura 5 muestra los métodos metas heurísticas más utilizados en problemas de ruteo vehicular que ayudan a resolverlos de forma aproximada, los cuales se explica a continuación:

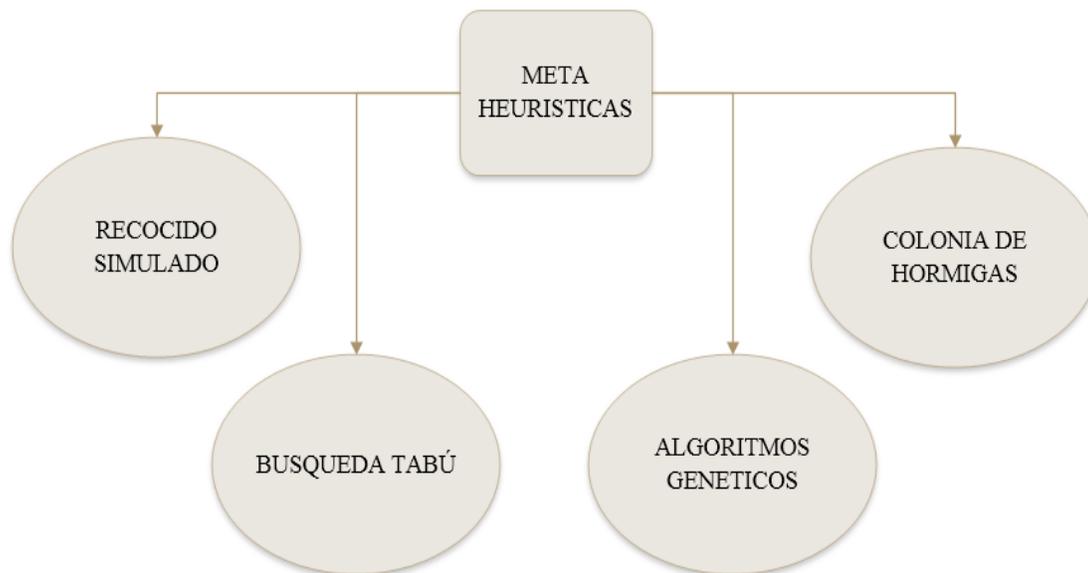


Figura 5. Meta Heurísticas

Fuente: Elaboración propia, a partir de Rodríguez (2013)

3.8.3.1. Recocido simulado (*Simulated Annealing, SA*).

El recocido simulado se basa en un proceso físico, el cual consiste en calentar un material a altas temperaturas donde luego se le disminuye la temperatura de manera lenta, para así crear una estructura cristalina donde el material alcance su máxima resistencia y de esta manera mejorar las cualidades físicas de este; en este método se hicieron varias analogías entre los parámetros en los procesos físicos de la termodinámica y las técnicas de optimización para emplearlo en los problemas combinatorios (Gómez & Rangel, 2011).

3.8.3.2. Búsqueda Tabú (*Tabú Search, TS*).

La Búsqueda Tabú o TS por sus siglas en inglés Tabú Search es una meta heurística que hace usos de procesos iterativos con el fin de dar soluciones a problemas de optimización combinatorias; su principal objetivo es salir de los óptimos locales y continuar la búsqueda por unas mejores soluciones (Gómez & Rangel, 2011). Es un algoritmo establecido en los movimientos que se restringen en la solución que se busca mejorar, permitiendo abordar en gran

manera el espacio de búsqueda de las posibles soluciones encontradas que se establecen como memoria a corto y largo plazo, por lo que es considerada una búsqueda inteligente, por la forma en que aprende con cada iteración (Castañeda & Cardona, 2014).

3.8.3.3. Algoritmos Genéticos (Genetic Algorithm, GA).

La meta heurística Algoritmos Genéticos o GA por sus siglas en inglés Genetic Algorithm, se fundamenta en la teoría de la evolución de especies expuesta por Darwin, en la cual se crean soluciones por medio de otras, las cuales conservan algunas características de las anteriores con respecto al nivel de mutación que se quiera obtener (las mutaciones se efectúan de manera aleatoria) (Castañeda & Cardona, 2014). El procedimiento de este algoritmo fundamentalmente desarrolla una población de cadenas de dígitos, los cuales se denominan cromosomas, los cuales en su codificación contienen una solución a un problema específico, a los cromosomas se les aplican unos operadores los cuales copian a los fenómenos de la naturaleza como es la reproducción y la mutación (Rodríguez, 2013).

3.8.3.4. Colonias de Hormigas (Ant Colony, ACO).

La meta heurística de Colonias de Hormigas o ACO por sus siglas en inglés Ant Colony se fundamenta en el comportamiento que tienen las hormigas al momento de buscar sus alimentos, las cuales en su afán de encontrar comida, exploran un campo amplio dirigiéndose en varias direcciones, mientras se desplazan dejan un rastro de feromonas que indican a las demás las rutas más atractivas, estos niveles de feromonas se van evaporando con cada iteración de la ruta (Rodríguez, 2013). El objetivo de utilizar esta meta heurística es disminuir paralelamente los vehículos utilizados, el trayecto recorrido y los tiempos totales de entrega (Bermeo Muñoz & Calderón Sotero, 2009).

Como método de solución se tomó los sistemas de resultados exactos, donde el software que se escogió para la resolución fue GAMS, que según Mora (2009) es una herramienta de niveles altos para el modelamiento y resolución de programación matemática y optimización, con gran

calidad y versatilidad a la hora de escribir los modelos. Una de las ventajas que presenta GAMS es la facilidad del ingreso de los parámetros y datos a utilizar, y permite el uso de métodos exactos como es el algoritmo de Branch and Cut el cual es ejecutado por el solver Cplex al momento de resolver problemas de programación entera mixta o MIP (Herazo, 2012).

Otra ventaja de GAMS es su sencillez en la interfaz y su funcionamiento en comparación a otros software como Matlab y AMPL, los cuales son potenciados principalmente en Norteamérica, específicamente en las universidades de Estados Unidos, sin embargo a pesar de lo previamente mencionado, GAMS es más antiguo y mayormente difundido comercialmente (Ramos, Sánchez, Ferrer, Barquín, & Linares, 2010).

Algunas ventajas que presenta GAMS, según Ramos, Cerisola, & Latorre (2017) son las siguientes:

- ✓ El uso de lenguajes de niveles altos para una compacta formulación de modelos grandes.
- ✓ La mejora de la productividad de modeladores.
- ✓ La implantación de algoritmos avanzados.
- ✓ La portabilidad entre plataformas y sistemas operativos.
- ✓ Separan datos de estructura matemática de modelo.
- ✓ Formulación independiente del tamaño.
- ✓ Documentación simultánea al modelo.
- ✓ Implantación fácil de problemas NLP, MIP y MCP.

4. Caracterización De La Empresa Proquimco S.A.S

4.1. Proquimco S.A.S

Es una empresa fabricante de insumos para la construcción y la industria, que cuenta con un portafolio de productos y servicios adecuado para satisfacer las necesidades de sus clientes, con un talento humano comprometido, basado en una filosofía de excelencia en servicio al cliente y un enfoque integral hacia el mejoramiento continuo. La gran experiencia que poseen, más la calidad de servicio y visión de futuro, hace que se animen a avanzar día a día para lograr productos de una calidad inmejorable, calidad que se pretende que se haga realidad en todos y cada uno de sus productos y servicios; cuentan con un departamento técnico e instalaciones capacitados que dejan huella con su trabajo en las obras nuevas o de remodelación, multiplicando clientes satisfechos que por igual confirman la buena elección de usar siempre sus productos. Proquimco S.A.S es una empresa comprometida con el desarrollo y progreso de la región mediante la producción, comercialización y distribución de productos y servicios de excelente calidad para el sector de la construcción y la industria. Cuenta con un equipo humano adecuadamente capacitado y comprometido con el mejoramiento continuo de sus procesos y con los recursos tecnológicos e infraestructura necesaria para garantizar la satisfacción de las necesidades y expectativas de sus clientes (Proquimco SAS, 2017).



Figura 6: Logo Proquimco S.A.S

Fuente: Proquimco SAS (2017)

4.2. Proceso de Distribución de Mercancías

El proceso de distribución de mercancías en la empresa Proquimco actualmente se desarrolla de lunes a sábado con los horarios que se presentan a continuación:

Tabla 1

Horario de servicio

Día	Hora inicio	Almuerzo	Hora final
Lunes	8:00 Am	12:30 M – 1:30 Pm	5:00 Pm
Martes	8:00 Am	12:30 M – 1:30 Pm	5:00 Pm
Miércoles	8:00 Am	12:30 M – 1:30 Pm	5:00 Pm
Jueves	8:00 Am	12:30 M – 1:30 Pm	5:00 Pm
Viernes	8:00 Am	12:30 M – 1:30 Pm	5:00 Pm
Sábado	8:00 Am	No	1:00 Pm

Fuente: Elaboración propia, a partir de Google Maps

4.2.1. Pedido de Productos.

El procedimiento de pedidos se debe realizar con una antelación de 5 días en comparación al día de salida de distribución y reparto a los clientes. En este proceso se debe elegir la cantidad de cada uno de los productos que se va a necesitar durante toda la semana de reparto, cabe resaltar que dicha cantidad se obtiene haciendo un pronóstico de ventas según el historial de cada uno de los clientes para una semana de reparto. Este se realiza en una factura de solicitud de pedidos (Véase Anexo 1) luego se le hace llegar a la Asistente de pedidos, la cual se encarga de ingresarlo al sistema de la empresa, para que el área de producción fabrique la cantidad de cada uno de los productos escritos en esa lista, y al momento de cargar el vehículo, estén todos los productos necesarios para su despacho.

Responsables: vendedor de la zona y asistente de pedidos.

4.2.2. Cargue del Vehículo.

El procedimiento de cargue del vehículo se debe realizar posteriormente a la solicitud del pedido y previo al día de reparto de mercancías. En este proceso se debe elegir una porción de productos de la cantidad solicitada en el paso anterior, y de igual manera se hace un pronóstico de los productos que se venden a cada uno de los clientes por día para así cargar el vehículo conforme a las necesidades de cada uno. Para realizar el cargue de la mercancía este se debe efectuar en una factura de entrada – remisión (Véase Anexo 2) posteriormente se entrega el documento totalmente digelenciado al Jefe de bodega, el cual es el encargo de verificar la trazabilidad del documento y el inventario obtenido de este, siendo este sujeto, el encargado de la actividad de cargue de cada uno de los productos suscritos al documento entrada – remisión, hasta agotar existencia del principal documento de solicitud de pedidos, este proceso se hace el día anterior de la salida del vehículo y cada vez que el vehículo termine su ruta de distribución para luego seguir con el proceso.

Responsables: jefe de bodega o quien haga sus veces, vendedor y conductor

4.2.3. Distribución de Bienes.

El procedimiento de distribución de mercancías se hace posteriormente y en complemento con el de solicitud de pedido y de cargue. En este proceso se busca atender a todos y a cada uno de los clientes de la empresa en la ciudad de Sincelejo – Sucre (Véase Anexo 3), los cuales se dividen por días de trabajos hábiles que comienza el día lunes hasta el sábado, cabe resaltar que de lunes a viernes se trabaja la jornada laboral normal, mientras que el día sábado solo se trabaja media jornada. Las rutas que recorre el vehículo cada día laboral fueron realizadas por la experiencia y expectativa del conductor juntamente con ayuda de la gerencia de ventas y gerencia general. Actualmente se tienen 6 rutas (Véase Anexo 4 – 9) que inicia desde el almacén, atiende a una serie de clientes y luego finaliza en el lugar de partida.

Responsables: vendedor de la zona y conductor.

4.2.3.1. Elementos del proceso de distribución de Bienes.

Los elementos relevantes al momento de la distribución son los clientes, los vehículos y los productos a distribuir, los cuales se relacionan a continuación:

4.2.3.1.1. Clientes.

El análisis de comprensión de los clientes se puede hacer mediante la caracterización de sus necesidades, la cual debe ser satisfecha por un vehículo, estos pueden que tengan requerimientos de bienes o servicios, la mayoría de los requerimientos de los clientes suele ser por la distribución entrega de bienes o recolectar la mercancía de los clientes y transportarla de vuelta al almacén; también existen otros casos en que la mercancía no se encuentre inicialmente en el almacén sino distribuida en depósitos que hagan sus veces de proveedores, los cuales se deben visitar previo a los clientes (Rodríguez, 2013).

En este caso de estudio, el problema está definido solamente por la entrega de mercancías, es una distribución auto-venta, por lo tanto, se debe anticipar a las necesidades de los clientes. Los clientes están distribuidos geográficamente de manera principal en la ciudad de Sincelejo y ciudades aledañas, donde con la ayuda de la herramienta Google Maps se pudo calcular el tiempo que se tarda el vehículo en viajar entre cada uno de los clientes y el almacén, cabe resaltar que esta herramienta en ocasión arroja varias rutas que difieren de distancia y tiempo de recorrido, por lo cual siempre se opta por tomar la mejor ruta teniendo en cuenta el tráfico con menor distancia y tiempo de recorrido (Véase Figura 7).

Cada cliente o nodo en el grafo representa un punto de atención donde el vehículo debe llegar, atender y suplir las necesidades, y expectativas de estos, realizando un servicio de buena calidad y entrega inmediata, cabe resaltar que el punto de partida y de cierre siempre será la

empresa Proquimco S.A.S la cual queda ubicada en la Transversal 4 # 15A-21 sector el pescador en la ciudad de Sincelejo departamento de Sucre.

En la Figura 7 se puede observar la mayoría de los clientes dispersos geográficamente, también se observa que se toma un punto de origen y de partida, donde la herramienta Google Maps arroja como resultado tres (3) rutas con diferente tiempo y distancia para cada tramo de recorrido, donde la mejor ruta o tramo que escogió el programa es la que esta subrayada de azul, con un tiempo de 10 min y en recorrido de 7,1 km en comparación a los demás 14 min con 4,5 km, y 14 min con 5,6 km respectivamente. Aunque el tramo de distancia es mayor a los demás, en este caso de estudio es la mejor opción por la limitante de tiempo de uso del vehículo, aunque se sacrifica un mayor recorrido que incurre en un aumento de los costos variables.

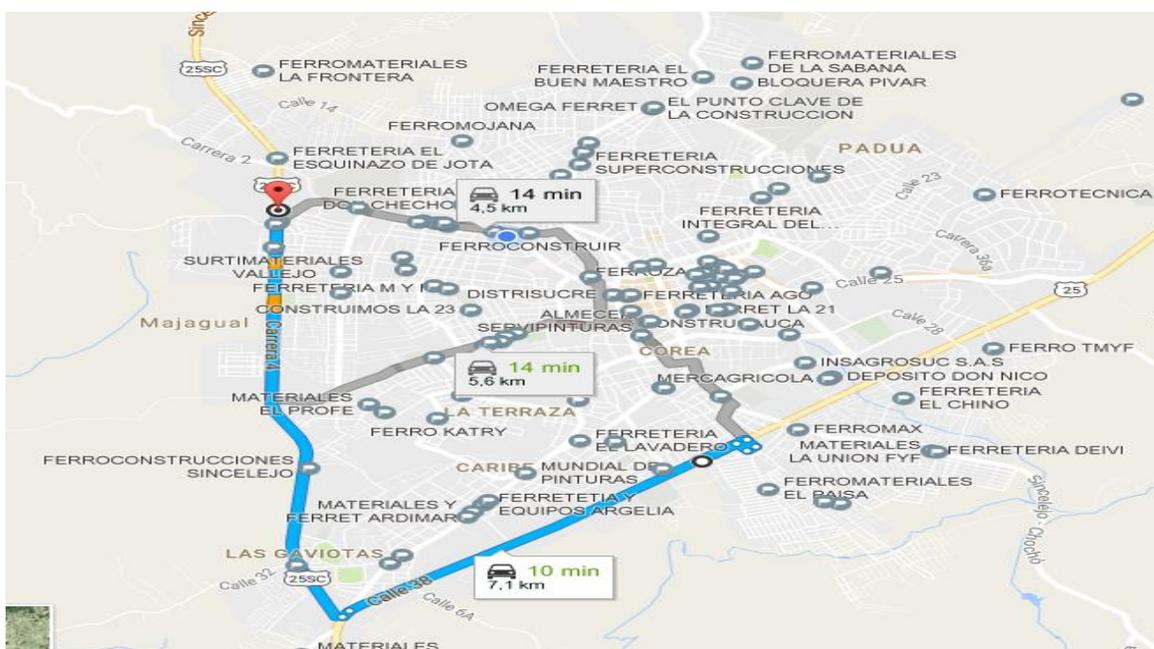


Figura 7. Ubicación de los clientes

Fuente: Elaboración propia, a partir de Google Maps

4.2.3.1.2. Vehículos.

El objetivo de los vehículos es transportar la mercancía que corresponde a los pedidos de los clientes, uno a la vez. Los camiones están restringidos por su capacidad de carga y la velocidad en la que pueden transportarse en las vías al momento de tener su mayor carga. Cabe resaltar que lo segundo puede variar por el estado de las vías por donde se transite, ya que una buena vía se presta para un tramo de recorrido y en caso contrario, se debe tener mucha precaución en vías malas. Los vehículos solo pueden detenerse en los puntos definidos en el mapa y solo para prestar el servicio de descargue de mercancías o en un caso particular, cuando es la hora de almuerzo de los empleados (Damián & Di Piazza, 2012).

La empresa Proquimco S.A.S cuenta con un (1) vehículo que emplea para el desarrollo de la distribución de mercancías, el cual se encarga de visitar a todos y cada uno de los clientes y suplir su demanda. Los vehículos solo se cargan dentro del almacén; la tripulación del camión está compuesta principalmente por el conductor, el vendedor y un ayudante o coterero que se encarga del descargue de mercancías, cabe resaltar que el conductor ayuda en el descargue de la mercancía para así facilitar el trabajo y realizar la tarea en el mejor tiempo posible.

Actualmente se está utilizando el camión JAC con una capacidad de 5.3 toneladas de modelo 2015 (Véase Tabla 2) y su ficha técnica presenta las siguientes especificaciones:

Tabla 2

Ficha técnica del vehículo JAC 1050 2015

FICHA TÉCNICA DEL CAMIÓN JAC 1050 EN COLOMBIA	
MODELO	HFC1050KD
MOTOR	CUMMIS
REFERENCIA	B125-33
TIPO(LONGITUDINAL)	En Línea 4-Turbo, Diésel, Intercooler

CILINDRADA	3900CC – 3922 Reales
DIAMETRO DE CARRERA	102X120 mm
MAXIMA POTENCIA	HP/RPM 123/2800
MAXIMO TORQUE	Kg-m 41.8/1600
PESO DEL MOTOR	362 Kg
FILTROS DE COMBUSTIBLE	3
BOMBA DE INYECCION	En Línea
INYECCION DE COMBUSTIBLE	Directa
SISTEMA LDA	Al Regulador de Revoluciones
APAGADOR	Eléctrico
TURBO CARGADOR	Holsent
INTERCOOLER	Si
EJE DE LEVAS	Al Bloque (Por Distribución de Piñones)

Fuente: Elaboración propia, a partir de Credivehículos (2015)

4.2.3.1.3. *Productos.*

La empresa Proquimco S.A.S tiene una gran variedad de productos de alta calidad que distribuyen a sus clientes por medio del recorrido de distribución; estos productos son de características similares, pero suelen variar en condiciones de peso y volumen (Véase Tabla 2-5). Cabe resaltar que no se muestra en su totalidad los productos de la empresa, sino los que los clientes solicitan en cantidad, pero en su mayoría, los demás resultan ser derivados de algunos de los presentes a continuación:

Tabla 3

Pinturas Dekora

N°	Nombre	Peso (Kg)	Presentación	Descripción
1	Dekora tipo 1 cuñete	25		Pintura elaborada con resinas 100% acrílicas, diseñada para proteger y decorar muros y techos. Especial para brindar alta lavabilidad, cubrimiento y acabado mate en primeras manos y acabado final en ambientes interiores y exteriores
2	Dekora tipo 1 galón	5		
3	Dekora tipo 2 cuñete	25		Pintura vinil acrílica de alto cubrimiento y rendimiento, diseñada para brindar alta adherencia y acabado mate en ambientes interiores. Es un producto especial para primeras manos o acabado final en obras arquitectónicas
4	Dekora tipo 2 galón	5		
5	Dekora tipo 3 cuñete	25		Pintura elaborada con resinas vinil acrílicas, diseñada para proteger y decorar muros y techos. Especial para brindar cubrimiento y acabado mate en ambientes interiores que no requieran limpieza
6	Dekora tipo 3 galón	5		

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Tabla 4

Estucos Duraflex

N°	Nombre	Peso (Kg)	Presentación	Descripción
1	Duraflex estuco base caja 3.5	20		<p>Polvo acrílico premezclado de granulometría gruesa, con alto poder de relleno y adherencia, especialmente diseñado para nivelar, corregir y preparar superficies.</p>
2	Duraflex estuco base caja 5	28		
3	Duraflex estuco base cuñete	28		
4	Duraflex estuco exterior caja 3.5	20		<p>Polvo acrílico premezclado extra blanco, de alta plasticidad, superior resistencia y adherencia sobre diferentes tipos de superficies; especialmente diseñado para muros, techos y pantallas en ambientes exteriores.</p>
5	Duraflex estuco exterior caja 5	28		
6	Duraflex estuco exterior cuñete	28		
7	Duraflex estuco exterior galón	5,6		
8	Duraflex estuco interior caja 3.5	20		<p>Polvo acrílico premezclado extra blanco, de alta plasticidad, superior resistencia y adherencia sobre diferentes tipos de superficies; especialmente diseñado para muros, techos y pantallas en ambientes interiores.</p>
9	Duraflex estuco interior caja 5	28		
10	Duraflex estuco interior cuñete	28		
11	Duraflex estuco interior galón	5,6		
12	Duraflex mastic caja 3.5	20		<p>Masilla acrílica para usar, con tripe funcionalidad:</p>

13	Duraflex mastic galón	5,6		<p>Estuco interior o base en diferentes tipos de superficie</p> <p>Relleno de juntas en placas de yeso cartón</p> <p>Adhesivo para cintas y mallas en placas de yeso cartón</p>
----	-----------------------	-----	---	---

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Tabla 5

Pegadur y Boquilla

N°	Nombre	Peso (Kg)	Presentación	Descripción
1	Blancodur boquilla beige	2		Mortero especializado para rellenar juntas de 3 – 15 mm en revestimientos de alta absorción como cerámica, tablón, gres y piedras naturales en ambientes interiores y exteriores
2	Blancodur boquilla blanca	2		Mortero especializado para rellenar juntas de 3 – 15 mm en revestimientos de alta absorción como cerámica, tablón, gres y piedras naturales en ambientes interiores y exteriores
3	Duraboquilla cerámica beige	2		Mortero impermeable para rellenar juntas de 3 – 15 mm en revestimientos de media y baja absorción como cerámica, tablón, gres, piedras naturales y revestimientos en ambientes interiores y exteriores.
4	Duraboquilla cerámica blanca	2		Mortero impermeable para rellenar juntas de 3 – 15 mm en revestimientos de media y baja absorción como cerámica, tablón, gres, piedras naturales y revestimientos en ambientes interiores y exteriores.
5	Pegadur cerámico gris	25		Mortero premezclado base cemento portland, de buena resistencia a la tracción, tiempo de corrección,

6	Pegadur cerámico gris	10		<p>manejabilidad y adherencia. Para instalar revestimientos de madería y alta absorción en paredes y pisos; en ambientes interiores y exteriores. Recomendado para instalar cerámica, tablón y gres.</p>
7	Pegadurmix	2		<p>Aditivo en polvo para mezclar con cemento, aumentando el tiempo de fraguado, la manejabilidad y la adhesividad del mortero.</p>

Fuente: Elaboración propia, tomada de Proquimco S.A.S

Tabla 6

Tubería Sanitaria Liviana (Tuvinil)

N°	Nombre	Peso (Kg)	Presentación	Descripción
1	Tubo sanitario 4"	5.8		<p>Los tubos sistemas PVC sanitaria son fabricadas para transportar agua servida, residual doméstica, industrial o aguas lluvias y ventilación (Pavco, 2014).</p>
2	Tubo sanitario 3"	4		
4	Tubo sanitario 2"	2.4		
5	Tubo sanitario 1-1/2"	1.8		

Fuente: Elaboración propia, tomada de Proquimco S.A.S

En la distribución de los productos a los diferentes clientes, se hace uso de los vehículos los cuales incurren en unos costos los cuales dependen de su uso y otros independientemente que se utiliza o no el auto.

4.3. Costos de Transportes

La prestación de servicio de transporte se maneja habitualmente para realizar el desplazamiento de mercancías como productos en procesos o finalizados. Algunas de las ventajas que presenta este servicio, es la velocidad con la que se entregan los bienes, y su cualidad de atención puerta a puerta, teniendo relación directa con el cliente. Utilizar este servicio incurre en unos costos por el uso del vehículo y todo lo que, en necesario para su funcionamiento, entre esos costos están los fijos y variables, como se explican a continuación:

4.3.1. Costos Fijos.

Los costos fijos del servicio de transporte son aquellos en los que se incurren independiente de si se usa el vehículo o no; estos costos son los que menos influyen económicamente debido a que no dependen de las rutas en las que se movilizan, sino que dependen de algunas leyes tributarias impuestas por el gobierno como lo es el caso de las depreciaciones e impuestos, a continuación, se explicara cuáles son estos costos y como se calcula:

4.3.1.1. Salarios de trabajadores.

En la empresa Proquimco actualmente se utilizan tres trabajadores que hacen funcionar el sistema de transporte, aunque con lo implementación de este proyecto solo se trabajará con dos empleados, un conductor-vendedor que se hará cargo de las dos funciones y un ayudante que será el encargado de la entrega de mercancías, al primero se le pagará un salario mínimo mensual vigente, incluido prestaciones sociales más una bonificación mientras que al último se le pagará un salario mínimo mensual vigente, incluido prestaciones sociales, como se explica en la tabla 7.

Tabla 7

Salarios de los trabajadores

Descripción	Trabajador 1	Trabajador 2
Salario mínimo mensual vigente	\$ 737.717	\$ 737.717
Bonificación	\$ 200.000	\$ 0
Auxilio de transporte	\$ 86.140	\$ 86.140
Pensión 12%	\$ 88.526	\$ 88.526
ARL	\$ 3.850	\$ 3.850
Comfasucre 4%	\$ 29.508	\$ 29.508
Cesantías 8.33%	\$ 68.627	\$ 68.627
Intereses de cesantías 1%	\$ 686	\$ 686
Primas 8.33%	\$ 68.627	\$ 68.627
Vacaciones 4.16%	\$ 30.689	\$ 30.689
SALARIO TOTAL	\$ 1.314.370	\$ 1.114.370

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2. Seguros.

Los costos en seguro en que incurre el uso del vehículo se dividen en el seguro general y el seguro obligatorio contra accidentes de tránsito, más conocido como SOAT y su costo se calcula de la siguiente manera.

- ✓ Seguro general. Este seguro se paga anualmente, por lo que se necesita hacer una operación matemática para calcular el costo mensualmente. El costo de este seguro tiene un valor de \$ 2.879.940, es decir que el costo mensual del seguro se calcula con la fórmula 1 de la siguiente manera.

$$\text{seguro mensual} = \frac{\text{costo seguro anual}}{\# \text{ meses del año}} \quad \text{Formula (1)}$$

Por lo que ya se conoce el costo del seguro y se sabe que el año tiene 12 meses, entonces se procede a remplazar en la fórmula (1) así:

$$\text{seguro mensual} = \frac{\$ 2.879.940}{12 \text{ meses}} = \$ 239.995 \text{ por mes}$$

Es decir que mensualmente se está pagando una suma de \$ 239.995 por el seguro general del vehículo.

- ✓ Seguro obligatorio contra accidentes de tránsito (SOAT): Se debe tener en cuenta que el SOAT está subdividido en tres partes las cuales son: la prima de SOAT, Fosiga y el Runt con costos \$ 442.067, \$221.033 y \$ 1.300 respectivamente. Estos costos se cancelan anualmente, por lo que la suma total a pagar es la adición de las tres sub partes mencionadas anteriormente y da como resultado \$ 664.400; y su costo mensual se calcula de igual manera como el anterior, es decir, se toma la fórmula 1, así:

$$\text{SOAT} = \frac{\$ 664.400}{12 \text{ meses}} = \$ 55.366,67 \text{ por mes}$$

Es decir que mensualmente se está pagando por el SOAT del vehículo una suma total de \$ 55.366,67. Para un total de costo en seguros de \$ 295.361,67

4.3.1.3. Depreciación.

La forma más fácil de calcular la depreciación de los vehículos, es calcularla de forma lineal, es decir que cada lapso de tiempo se va depreciando (perdiendo valor) en la misma cantidad de precio. Para eso solo se necesita conocer dos datos muy importantes, que son la vida útil del vehículo y el precio en el que se incurrió para obtenerlo. Para calcular este importante costo se tiene en cuenta la siguiente fórmula:

$$\text{Depreciacion} = \frac{\text{costo del vehículo}}{\text{vida util del vehiculo (meses)}} \qquad \text{Formula (2)}$$

La depreciación en Colombia, se considera como vida útil probable de los bienes depreciables, hasta veinte años para la propiedad inmueble, diez años para la propiedad mueble y cinco años para los aviones y Vehículos automotores en general. Es decir, que la vida útil de los vehículos es de 60 meses (5 años).

El costo del vehículo empleado para el reparto y distribución de las mercancías en la empresa Proquimco S.A.S fue de \$ 52.900.000; por lo que se prosigue a calcular la depreciación reemplazando la fórmula 2, así:

$$Depreciacion = \frac{\$ 52.900.000}{60 \text{ meses}} = \$ 881.666,67 \text{ por mes}$$

Es decir que cada mes que transcurre el vehículo va perdiendo el valor de \$ 881.666.67, aun si el este está en uso o no.

4.3.1.4. Impuestos de Rodamiento.

El Ministerio de Hacienda decretó que a partir del 1° de enero de 2017 los valores absolutos del impuesto sobre vehículos para la aplicación de las tarifas del impuesto sobre vehículos automotores, se ajustarán según la meta de inflación fijada por el Banco de la República en 3%. Según lo anterior, para los automotores particulares hasta \$43.953.000, 1,5%; los que estén entre \$43.953.000 hasta \$98.893.000, el 2,5% y los que se encuentren por encima de \$98.893.000, el 3,5% (Ministerio de Hacienda y Credito Publico, 2016).

El vehículo de la empresa Proquimco S.A.S se encuentra entre el rango mayor de \$ 43.953.000 pero menor que \$ 98.893.000, quiere decir que su impuesto fijado será del 2.5%, teniendo en cuenta que este precio se paga anual, y se quiere conocer el precio en meses. Se hace la siguiente operación.

$$impuesto(anual) = costo \text{ del vehiculo} * \% \text{ impuesto}$$

Formula (3)

$$\text{impuesto}(\text{anual}) = \$ 52.900.00 * 2.5\% = \$ 1.322.500$$

Conociendo que anualmente se cancela \$ 1.322.500 por el impuesto del vehículo se pretende conocer el valor mensual por lo que se recurre a la fórmula 4, así.

$$\text{impuesto}(\text{mensual}) = \frac{\text{impuesto}(\text{anual})}{\text{año}(\text{meses})} \qquad \text{Formula (4)}$$

$$\text{impuesto}(\text{mensual}) = \frac{\$ 1.322.500}{12 \text{ meses}} = \$ 110.208,33 \text{ por mes}$$

4.3.1.5. Mantenimiento del vehículo.

El mantenimiento que se le hace al Vehículo de la empresa Proquimco s.a.s, se realiza cada trimestre de forma preventiva y tiene un costo aproximadamente de \$ 650.000 por lo que equivale a un costo mensual (costo mantenimiento entre trimestre) de \$ 216.666,67; además de esto se hace un lavado del auto cada dos veces al mes con un costo de \$ 35.000 casa lavada, es decir, que mensualmente (costo lavado entre veces que se lava en el mes) en lavado se gasta \$ 70.000 por mes, dejando un costo de mantenimiento y lavado de \$ 286.666,67.

A continuación, se tabulará los costos fijos que tienen relación con el proceso de distribución de mercancías:

Tabla 8

Costos fijos

COSTOS FIJOS DE DISTRIBUCIÓN	
SALARIO DE TRABAJADORES	\$ 2.428.740

SEGUROS	\$ 295.361
DEPRECIACION	\$ 881.666
IMPUESTO DE RODAMIENTO	\$ 110.208
MANTENIMIENTOS	\$ 286.666
COSTO TOTAL	\$ 3'984.371

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Costos Variables.

Los costos variables son los que se consideran a arrojar mayor precio de consumo, estos costos son dependientes a las construcciones y manutenciones de las rutas de transito que se pagan en forma de impuestos de combustibles, peajes, entre otros. A diferencia de los costos fijos que se calculan por mes, estos costos se calculan por cada Kilómetro que se recorre, los más representativos son:

4.3.2.1. Combustible.

En el control que se tiene de los recorridos del vehículo mientras se atiende a los clientes por semana, se realizó la tarea de tomar el desplazamiento en kilómetros en dicho tiempo de trayecto, como también la cantidad de combustible empleado en tal uso, donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 9

Costo combustible

Descripción	Kilómetro Recorrido	Costo de combustible (Pesos)
Semana 1	192	\$100.000
Semana 2	211	\$ 140.000
Semana 3	243	\$ 150.000
Total	646	\$ 390.000

Promedio	215,33	\$ 130.000
-----------------	--------	------------

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el costo por recorrido en Km del camión de la empresa Proquimco S.A.S se hace uso de la siguiente la fórmula teniendo en cuenta los resultados promedios, como se muestra a continuación:

$$\text{costo por Km recorrido} = \frac{\text{costo de combustible}}{\text{distancia recorrida (km)}} \quad \text{Formula (5)}$$

$$\text{costo por Km recorrido} = \frac{\$130.000}{215,33 \text{ km}} = \$ 603,72 \text{ por km}$$

Es decir que el vehículo se está gastando \$ 607.72 por cada km que recorra.

4.3.2.2. Aceites.

En los cambios de aceites que realiza el vehículo, se tiene en cuenta que este se realiza una vez se haya recorrido 8.000 Km, el costo del cambio de aceite es de \$ 251.000. Para calcular el costo de aceite por Km recorrido se tiene en cuenta la fórmula 6, como se muestra a continuación:

$$\text{costo de aceite} = \frac{\text{costo de los aceites}}{\text{kilometros recorridos}} \quad \text{Formula (6)}$$

$$\text{costo de aceite} = \frac{\$251.000}{8.000 \text{ km}} = \$ 31 \text{ por Km}$$

Es decir que el costo por Km recorrido de aceite es de \$ 31.

4.3.2.3. Neumáticos.

Para calcular el costo de los neumáticos se debe tener en cuenta la vida útil aproximada de estos en Km, que se encuentra en 50.000 km, y se debe tener en cuenta el costo de cada una de las llantas, el cual el precio está en aproximadamente unos \$ 603.900 por unidad, y se tiene en cuenta que el vehículo hace uso de 6 de estas unidades.

Para hacer el cálculo de las llantas por recorrido en Km se tiene en cuenta la fórmula 7, de la siguiente manera:

$$\text{costos de neumaticos} = \frac{\#de llantas usada * costo de llantas}{vida util en kilometros de las llantas} \quad \text{Formula (7)}$$

$$\text{costos de neumaticos} = \frac{6 llantas * \$ 603.900}{50.000 km} = \$ 72,468 \text{ por llantas por km}$$

Esto quiere decir que el costo por recorrido en Km de cada llanta es de \$ 71,47

A continuación, se tabulará los costos variables y así de esta manera conocer cuánto es el costo por cada kilómetro que realiza el vehículo:

Tabla 10

Costos variables

COSTOS VARIABLES POR KM RECORRIDO	
COMBUSTIBLE	\$ 607,72
ACEITES	\$ 31
NEUMATICOS	\$ 71,47
COSTO TOTAL	\$ 710,19

Fuente: Elaboración propia.

Se hará uso de los datos previamente mencionados para calcular el costo por cada una de las rutas que emplea a empresa actualmente para realizar la entrega de mercancías.

4.4. Rutas de la empresa Proquimco

Con el fin de parametrizar la eficiencia y eficacia de la corrida, se toman los datos con los que trabaja la empresa en la actualidad, en otras palabras, las rutas y los distintos costos en los que se incurre. Se realizó este primer paso de resolución para idealizar de manera clara la viabilidad del proyecto. Este paso tiene por principio la caracterización de cada una de las rutas que se emplean en la actualidad, siguiendo a cabal letra cada uno de los pasos, destinos y productos para los distintos puntos de entrega o clientes.

Entre los datos encontrados al realizar los respectivos seguimientos y consultas se encuentra que la empresa labora con un total de seis (6) rutas, que están distribuidas a lo largo de la semana (Véase Anexo 4-9). Al efectuar los cálculos pertinentes se encontró un valor total de costos variables de \$ **162 148.59**, el cual es el resultado de la suma de todos los recorridos por rutas de la empresa.

Cabe resaltar que para prever la suma en Kilogramos (Kg) que se debe entregar a cada uno de los clientes, se calcula la cantidad de masa de cada uno de los productos que estos requieran en cada compra, es decir se multiplica la masa en Kg por la cantidad requerida de los productos y se obtiene como resultado el total de la masa que requiera cada cliente. Para validar la información requerida, se toma el historial de compra de cada uno de los clientes. Esto se hace para facilitar el trabajo de los Multi-productos que maneja la empresa y de esta manera tener en cuenta únicamente la masa en Kg de los productos que requieren en el historial de compra, cabe resaltar que el comportamiento que toma el historial de compra de productos por cada semana de recorridos se muestra en el Anexo 10-11.

Antes de presentar la información que se ilustrará por medio de tablas se definirá cada una de los datos que se encuentran presentes en ella. Donde cabe resaltar que todas las rutas se incluye el nodo del almacén (PROQUIMCO), que es donde inicia y culmina cada ruta:

Tabla 11

Encabezado de tabulación

Día	Turno	Cliente	Km Recorrido	Costo de Transporte
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Costo Total de Transporte en Ruta				(6)

Fuente: elaboración propia

Donde:

- (1) Presenta el día de la semana en el cual se realiza esa ruta.
- (2) Expresa el número del turno de cada nodo en dicha ruta, número que será ascendente e iniciará siempre en uno (1) con el almacén.
- (3) Menciona el nombre del nodo, sea cliente o almacén.
- (4) Muestra la distancia de un nodo a otro, siendo la primera casilla la distancia entre el almacén (Proquimco S.A.S) y el cliente que aparezca en la primera casilla de “Cliente”.
- (5) Identifica el costo de transporte, este resultado se obtiene por el producto de la distancia por el costo por Kilómetro recorrido.
- (6) Presenta la cantidad total en pesos, del tramo recorrido al viajar a todos los clientes.

A continuación, se ilustrará cada una de las rutas o recorridos que hace el vehículo de la empresa Proquimco S.A.S para la atención de sus clientes, haciendo énfasis al costo total de todo el tramo recorrido (Véase Tablas 11-16):

4.4.1. Ruta N° 1.

Esta ruta se desarrolla actualmente en el día uno (1) o primer día hábil de la semana, se encuentra compuesta por 20 nodos donde se incluye la empresa, y el costo variable de movilizarse ese día es de \$ 29.608,32.

Tabla 12

Ruta día 1

Día	Turno	Cliente	Km recorrido	Costo de Trans. (pesos)
1	1	FERRO INSUMOS EL PESCADOR	0,14	85,50
1	2	FERROCONSTRUCCIONES SINCELEJO	2,3	1404,66
1	3	MATERIALES LA LAGUNA	1,9	1160,37
1	4	GRANERO Y FERRET EL TAMARINDO	4,2	2565,02
1	5	PROVISIONES EL CACIQUE	8,2	5007,90
1	6	MATERIALES JERUSALÉN	0,21	128,25
1	7	MATERIALES DAJUD	0,22	134,36
1	8	FERRET EL PAISA	0,14	85,50
1	9	SERVIMATERIALES	0,06	36,64
1	10	FERROCENTRO SAMPUES	0,25	152,68
1	11	FERRET BETO	0,22	134,36
1	12	FERRET LEIVER	9,9	6046,13
1	13	FERROMATERIALES LA FABRICA	1	610,72
1	14	FERROCAMPO CHOCHO	0,09	54,96
1	15	MATERIALES LA UNIÓN FYF	6,8	4152,90
1	16	FERRET DEIVI	0,051	31,15
1	17	FERROMAX	0,75	458,04
1	18	FERROELECTRICOS CANCHILA	0,55	335,90
1	19	FERRET LA FRONTERA	10	6107,20

1	20	PROQUIMCO	1,5	916,08
COSTO TOTAL DE TRANSPORTE EN RUTA				29608,32

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

4.4.2. Ruta N° 2.

Esta ruta se desarrolla actualmente el día dos (2) o segundo día hábil de la semana, se encuentra compuesta por 19 nodos y el costo variable de movilizarse ese día es de \$ 20.923,27.

Tabla 13

Ruta Día 2

Día	Turno	Cliente	Km recorrido	Costo de Transporte (pesos)
2	1	FERRET KRRASCO	6,3	3847,54
2	2	FERROMATERIALES EL PAISA	4,6	2809,31
2	3	FERRET LA GRAN BODEGA	0,65	396,97
2	4	FERRET LA NARCIZA	1,9	1160,37
2	5	FERRET GAVIRIA	0,45	274,82
2	6	FERRO VARIEDADES RC	4,3	2626,10
2	7	FERRET Y MATERIALES MAFRE	1	610,72
2	8	FERRROMAT Y EQUIPOS ARGELIA	0,05	30,54
2	9	MATERIALES Y FERRET ARDIMAR	0,05	30,54
2	10	FERROMATERIALES DEL CARIBE	0,09	54,96
2	11	FERRO KIKE	0,5	305,36
2	12	FERRO SAN PEDRO	0,1	61,07
2	13	FERRO KATRY	1,8	1099,30
2	14	FERROMATERIALES ADA	0,55	335,90
2	15	FERRET EL PROFE	0,12	73,29
2	16	FERRET EL COMIENZO	1,2	732,86
2	17	FERROCONST LA ECONOMÍA	4,2	2565,02

2	18	ONE CENTER	4,9	2992,53
2	19	PROQUIMCO	1,5	916,08
COSTO TOTAL DE TRANSPORTE EN RUTA				20923,27

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

4.4.3. Ruta N° 3.

Esta ruta se desarrolla actualmente el día tres (3) o tercer día hábil de la semana, se encuentra compuesta por 20 nodos y el costo variable de movilizarse ese día es de \$ 19.816,03.

Tabla 14

Ruta Día 3

Día	Turno	Cliente	Km recorrido	Costo de Transporte (pesos)
3	1	BLOQUERA Y FERRETERÍA PIVAR	3,7	2259,66
3	2	FERROMATERIALES DE LA SABANA	3,9	2381,81
3	3	FERROELEC. EL BUEN MAESTRO	4,44	2711,60
3	4	OMEGA FERRETERÍA	4,4	2687,17
3	5	EL PUNTO CLAVE DE LA CONST.	3,7	2259,66
3	6	MATERIALES LA CEIBA	4	2442,88
3	7	PINTURAS Y FERRET LA 17	0,5	305,36
3	8	FERRET SUPE CONSTRUCCIONES	3,7	2259,66
3	9	FERRET ITUANGO	0,26	158,79
3	10	FERROMOJANA	0,85	519,11
3	11	FERRET DON CHECHO	0,65	396,97
3	12	PINTUCENTRO DS	0,066	40,31
3	13	COMERCIALIZADORA BETEL	0,23	140,47
3	14	FERROMELISSA	0,042	25,65
3	15	FERROMATERIALES ELITE	0,028	17,10
3	16	FERROPINTURAS	0,069	42,14

3	17	RM DISTRIBUCIONES	0,022	13,44
3	18	FERRET JAIME	0,45	274,82
3	19	FÁBRICA DE BLOQUES BITAR	0,14	85,50
3	20	PROQUIMCO	1,3	793,94
COSTO TOTAL DE TRANSPORTE EN RUTA				19816,03

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

4.4.4. Ruta N° 4.

Esta ruta se desarrolla actualmente el día cuatro (4) o cuarto día hábil de la semana, se encuentra compuesta por 20 nodos y el costo variable de movilizarse ese día es de \$ 11.644,60.

Tabla 15

Ruta Día 4

Día	Turno	Cliente	Km recorrido	Costo de Transporte (pesos)
4	1	FERRET EL CAMPO LA 22 S.A.S	1,5	916,08
4	2	FERRET M Y N	0,083	50,69
4	3	CONSTRUIMOS LA 23	0,35	213,75
4	4	LA SUPERFERRETERIA	0,65	396,97
4	5	FERRET DE LA ESPRIELLA	0,29	177,11
4	6	FERRET L Y L	0,041	25,04
4	7	FERRET SUIZA	0,055	33,59
4	8	REPRES. DE CEMENTO CARIBE	0,048	29,31
4	9	FERRO PUNTO	0,9	549,65
4	10	MEGA CONSTRUCCIONES	0,65	396,97
4	11	FERRET EL CHINO	1,9	1160,37
4	12	FERRO TMYF	1,1	671,79
4	13	FERRO TÉCNICA	2	1221,44
4	14	GRUPO FERCOM	1,2	732,86

4	15	FERRET Y EQUIPOS LUDESA	2,2	1343,58
4	16	INDEHOGAR	0,4	244,29
4	17	FERROMATERIALES DON PEDRO	0,8	488,58
4	18	FERRET INTEGRAL DEL BOSQUE	0,6	366,43
4	19	FERROCONST. EL PORVENIR	0,4	244,29
4	20	PROQUIMCO	3,9	2381,81
COSTO TOTAL DE TRANSPORTE EN RUTA				11644,60

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

4.4.5. Ruta N° 5.

Esta ruta se desarrolla actualmente el día cinco (5) o viernes de la semana, se encuentra compuesta por 26 nodos y el costo variable de movilizarse ese día es de \$ 48.422,77.

Tabla 16

Ruta Día 5

Día	Turno	Cliente	Km recorrido	Costo de Trans. (pesos)
5	1	FERRET Y MATERIALES LIBERTAD	27,1	16550,51
5	2	FERRET BETEL LOS PALMITOS	0,19	116,04
5	3	FERRET LOS PALMITOS	0,35	213,75
5	4	MATERIALES GUEPAJE	1,1	671,79
5	5	FERROMATERIALES TUMBA BURRO	8,2	5007,90
5	6	FERROCENTRO	0,85	519,11
5	7	FERRET CENTRAL 1	0,8	488,58
5	8	FERRET CARIBE	0,069	42,14
5	9	FERROELECTRICOS LOS SOCIOS	0,031	18,93
5	10	CONSTRUYA	1,1	671,79
5	11	SÚPER MATERIALES BETULIA	6,6	4030,75
5	12	FERRETERÍA LA FE	0,21	128,25

5	13	MATERIALES Y CONST. JC	0,19	116,04
5	14	FERRETERÍA SAN JUAN	0,19	116,04
5	15	FERRET CARIBE J Y R	8,8	5374,34
5	16	FERROPINTURAS LA MACARENA	0,45	274,82
5	17	FERRET LA PUERTA DEL SOL	0,12	73,29
5	18	FERRETERÍA MARY	0,098	59,85
5	19	MATERIALES COROZAL	0,6	366,43
5	20	SERVIMAT. Y FERRET LA ROCA	0,21	128,25
5	21	ESTUCO Y ACAB. DE LA SABANA	0,4	244,29
5	22	FERRET LAS BRISAS	0,6	366,43
5	23	MULTIMATERIALES COROZAL	0,18	109,93
5	24	FERROMATERIALES SAN BLAS	1,2	732,86
5	25	MI CASA FERRET	0,75	458,04
5	26	PROQUIMCO	18,9	11542,61
COSTO TOTAL DE TRANSPORTE EN RUTA				48422,77

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

4.4.6. Ruta N° 6.

Esta ruta se desarrolla actualmente el día seis (6) o sábado de la semana, se encuentra compuesta por 16 nodos y el costo variable de movilizarse ese día es de \$ 9.006,90.

Tabla 17

Ruta Día 6

Día	Turno	Cliente	Km recorrido	Costo de Transporte (pesos)
6	1	FERRET CALDAS	3	1832,16
6	2	MATERIALES E INSUMOS GUACARY	1	610,72
6	3	FERRO CAUCA	0,5	305,36

6	4	FERRET G 42	0,45	274,82
6	5	FERRO DS	0,28	171,00
6	6	FERRET LA 21	0,65	396,97
6	7	FERRO SOLUCIONES CAMILA	0,038	23,21
6	8	MATERIALES EL CAUCA	0,85	519,11
6	9	FERROPINTURAS LA 23	0,13	79,39
6	10	FERROELEC. Y PINTURAS DE SUCRE	0,6	366,43
6	11	MI CASITA	0,6	366,43
6	12	EL PUNTO DE LOS COLORES	0,8	488,58
6	13	SUCRE PINTURA	0,95	580,18
6	14	FERRET L Y M	0,5	305,36
6	15	BIMCOL	3,4	2076,45
6	16	PROQUIMCO	1	610,72
COSTO TOTAL DE TRANSPORTE EN RUTA				9006,90

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Al realizar todos los tramos de recorrido se tiene que el costo total de las rutas diseñadas por la empresa es de un total de \$162 148.59. El cuál es la sumatoria de los costos totales de transporte de cada una de las rutas. Dicho valor será contrastado con lo arrojado por GAMS, para la realización del nivel de eficacia y eficiencia del nuevo modelo de rutas.

Cabe resaltar que estas rutas fueron diseñadas a partir de la experiencia del conductor junto con la gerencia de ventas y gerencia general, y no se tuvo ayuda de alguna herramienta que asegurara la eficiencia de las decisiones tomadas.

5. Problema De Ruteo De Vehículos Con Flota Homogénea, Restricciones De Capacidad Y Tiempo

5.1. Modelo Conceptual

El modelo VRP con flota homogénea, restricciones de capacidad y tiempos, (CVRP-HFTC) aplicado a la distribución de productos de la empresa PROQUIMCO S.A.S, tiene como objetivo:

- ✓ Minimizar los costos totales del sistema de distribución

El modelo CVRP-HFTC puede definirse matemáticamente mediante un grafo dirigido $G(N, A)$, en el cual N conforma a un conjunto de vértices, los cuales se dividen en dos subconjuntos: $N_d = \{n_1, n_2, n_3 \dots n_d\}$ es el conjunto de almacenes y hace referencia a la empresa Proquimco S.A.S, y $N_c = \{n_1, n_2, n_3 \dots n_c\}$ es el conjunto de clientes a los cuales se debe satisfacer una necesidad, que hace referencia a los 115 clientes que maneja la empresa, haciendo entrega de los productos que estén requiriendo. Por ultimo $N = \{N_d + N_c\}$ es el conjunto de todos los clientes más el almacén. Por otro lado A es el conjunto de arcos que interrelaciona a los clientes a través de una matriz de costo de tamaño $N \times N$ de tal forma que cada arco tiene establecido una distancia C_{ij} , donde el conjunto $A = \{i, j\}$.

En este modelo los recorridos son realizados por un vehículos marca JAC el cual tiene una capacidad de 6000 Kilogramos que restringe el sistema de distribución, el vehículo inicia y termina su ruta en la empresa Proquimco S.A.S, en su recorrido debe satisfacer la demanda de cada uno de los 115 clientes, haciendo entrega de cada uno de los productos que estos requieren, los cuales deben ser calculados previamente a la salida del camión, y se realiza mediante pronósticos teniendo en cuenta el historial de compras de cada uno de los clientes.

En el recorrido, los clientes deben ser atendidos dentro de un tiempo máximo de recorrido de uso del vehículo, el cual se utiliza durante una jornada laboral, es decir, 480 minutos; cada cliente tiene un tiempo de servicio asignado (Véase Anexo 12) que es el máximo tiempo que puede durar el vehículo atendiendo a cada uno de los clientes, y un tiempo de viaje del vehículo entre cada cliente denominado como T_{ijk} el cuál es el tiempo de recorrido que debe tardar el vehículo para viajar entre todos los clientes.

Este modelo está definido de tal forma que deba acaparar las siguientes restricciones:

- ✓ Cada ruta debe comenzar y finalizar en la empresa Proquimco S.A.S.
- ✓ Los clientes deben ser atendidos por el vehículo de la empresa.
- ✓ No se puede sobrepasar los 6000 Kg de capacidad del vehículo en cuanto al peso de los productos.
- ✓ La sumatoria de los tiempos de servicio y transporte de una ruta no puede exceder los 480 minutos que se establecen para utilizar el vehículo.

5.2. Modelo Matemático Para El Problema de Ruteo de Vehículos Con Flota Homogénea, Restricciones de Capacidad y Tiempo

Para la construcción del modelo de ruteo vehicular, se tomaron como guía las diferentes estructuras desarrolladas por (Bae & Hwang, 2007); (Cáceres-Cruz, 2013) y (Guasmayan-Guasmayan, 2014), adaptándolos a los requerimientos específicos para el modelado de la distribución en la empresa PROQUIMCO S.A.S.

5.2.1. Conjuntos.

Por las particularidades propias del problema de ruteo de vehículos, se declaran los siguientes conjuntos:

- ✓ N_d : Es la empresa Proquimco S.A.S.

- ✓ N_c : Es el conjunto de 115 clientes.
- ✓ N : Conjunto de los 115 clientes más la empresa
- ✓ K : Es el vehículo marca JAC

5.2.2. Parámetros.

- ✓ Q_k : Es la capacidad de 6000 *Kg* del vehículo
- ✓ Cv_k : Es el costo variable por uso del vehículo.
- ✓ C_{ij} : Es la distancia en km de viajar entre los 115 clientes.
- ✓ D_p : Es la demanda a satisfacer de los clientes, representada en cantidad de productos.
- ✓ T_{ijk} : Es el tiempo de viaje del vehículo k entre los clientes representado en *min*.
- ✓ TS_{jk} : Es el tiempo servicio del vehículo a cada uno de los cliente representado en *min*.
- ✓ T_k : Es el tiempo máximo de ruta del vehículo representado en *min*.

5.2.3. Variable de Decisión.

- ✓ X_{ijk} : Variable binaria, (1) si el vehículo viaja de un cliente a otro , y (0) en caso contrario.

5.2.4. Función objetivo.

$$\text{Min } Z: \sum_{k \in K} \sum_{i \in A} \sum_{j \in A} X_{ijk} (Cv_k C_{ij}) \quad (41)$$

La ecuación (41) es la función objetivo, donde se pretende minimizar los costos de los recorridos del vehículo JAC.

5.2.5. Restricciones.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N_c} X_{ijk} = 1; \quad \forall i \in N_c \quad (42)$$

La ecuación (42) garantiza que cada uno de los clientes son visitados solo una vez por el vehículo asignado.

$$\sum_{j \in N_c} X_{iN_dk} = \sum_{i \in N_c} X_{N_djk}; \quad \forall k \in K, \forall N_d \in N \quad (43)$$

La ecuación (43) asegura que el vehículo inicie en Proquimco y debe finalizar en el mismo.

$$\sum_{i \in N_c} \sum_{j \in N_c} X_{ijk} D_j \leq Q_k; \quad \forall k \in K \quad (44)$$

La ecuación (44) garantiza que no se exceda los 6000 Kilogramos de capacidad del vehículo por cada ruta.

$$\sum_{i \in N_c} \sum_{j \in N_c} X_{ijk} \leq D_j; \quad \forall k \in K \quad (45)$$

La ecuación (45) garantiza que la cantidad de productos que se cargue al vehículo no será mayor que la demanda de los clientes.

$$\sum_{i \in N_c} T_{Sjk} \sum_{j \in N_c} x_{ijk} + \sum_{i \in N_c} \sum_{j \in N_c} x_{ijk} T_{ijk} \leq T_k \quad \forall k \in K \quad (46)$$

La ecuación (46) asegura que la suma del tiempo requerido para el servicio de los clientes y el tiempo requerido para viajar entre ellos, no exceda el tiempo máximo del cual se puede emplear el vehículo.

$$X_{ijk} \in \{0,1\}; \quad \forall i \in A, \forall j \in A, \forall k \in K \quad (47)$$

6. Resolución Del Problema De Ruteo De Vehículos Con Flota Homogénea, Restricciones De Capacidad Y Tiempo

El modelo fue desarrollado en el computador que tiene como sistema operativo a Windows 10 pro, el cual cuenta con un procesador Intel® Celeron® con CPU N2840 @ 2.16GHz, 2.16 GHz. Tiene una Memoria instalada (RAM) de 4,00 GB (3,89 GB utilizable). Y su Sistema operativo es de 64 bits, con un procesador x64.

El modelo presente para dar solución al problema de ruteo de vehículos con flota homogénea, restricciones de capacidad y tiempo muestra un eficiente desempeño computacional en el uso de pequeñas instancias hasta de 15 clientes. Las pruebas iniciales se realizaron en instancias de 2 hasta 5 clientes, donde se obtuvo un resultado óptimo sin alterar las configuraciones del solver; en instancias mayores fue necesaria optar por la opción de parámetros del solver denominada OPTCR. El cual se representa como el criterio de optimalidad relativa de las soluciones enteras, este determina cuando se detiene el proceso de solución mientras garantice que la mejor solución hallada no difiera de $100 \cdot \text{OPTCR}$ de la solución global; esta opción toma un valor de 0.1 si no se define, mientras que puede tomar valores entre 0 y 1 (Sala, 2015). Esta opción ayudo a obtener resultados óptimos en instancias hasta de 15 clientes; en instancias de 20 clientes discrepa el nivel de optimalidad, aunque es muy cerca su porcentaje al de la mejor solución arrojada pro GAMS; este parámetro afecta considerablemente el número de iteraciones en cada solución para obtener un mejor resultado, aunque esto aumento considerablemente el tiempo computacional.

6.1. Programación de Rutas

La resolución presentada por GAMS para el diseño de pequeñas instancias, donde se considera los nodos o clientes en la participación de la creación del recorrido, número de

iteraciones, tiempos computacionales, costo y mejor resultado con su respectivo porcentaje; se muestra de tal forma con una estructura de tabulación como se presenta a continuación:

Donde:

- (1) Instancia, determina el número de clientes de prueba.
- (2) Tiempo computacional, identifica el tiempo que tarda el programa en arrojar una solución.
- (3) Iteraciones, establece el número máximo de repeticiones que realiza el programa antes de detenerse.
- (4) Costo total, solución arrojada por GAMS.
- (5) Relative gap, porcentaje de diferencia entre (4) y la mejor solución.

Tabla 18

Encabezado de la tabulación 2

Instancia	Tiempo computacional	Iteraciones	Costo total	Relative gap
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)

Fuente: elaboración propia

Se resuelve el problema con instancias pequeñas de 5, 10, 15, 20 y 30 clientes para luego hacer una comparación de los datos arrojados.

Tabla 19

Resultados de instancias

Instancias	Tiempo comp. (seg)	Iteraciones	Costo total	Relative Gap
5	0,403	32	8800,12	0%
10	0,600	3991	14510,71	0%
15	874,275	11860546	23903,83	0%
20	1000,687	10043939	26632,22	4,5%

25	1000,698	6004879	31583,77	22,1%
30	1000,846	5341903	32437,69	25,9%

Fuente: Elaboración propia

Al instante en el que se calcula la información se demuestra lo mencionado al inicio del capítulo, donde asegura los resultados óptimos hasta 15 clientes, y va perdiendo el valor óptimo en la manera en que se aumenta el número de clientes en las instancias. A continuación, se presenta el comportamiento de los datos tabulados:

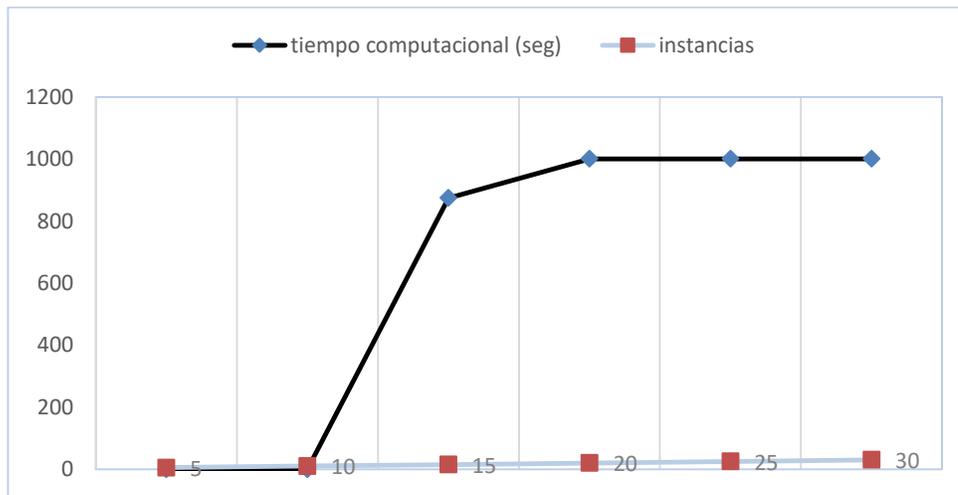


Figura 8. Tiempo computacional vs instancias

Fuente: Elaboración propia

Se debe aclarar que en condiciones normales, donde no se altera las opciones de tiempo computacional en GAMS, este realiza una completa búsqueda limitada a 1000 segundos de tiempo de ejecución, que son los valores que toma por defecto (Sala, 2015) Aquí se muestra el aumento considerable al momento de realizar la compilación de las tres primeras instancias para luego estabilizar dicho tiempo como se muestra en la Figura 9, lo cual se debe a la configuración estándar de GAMS.

En lo que se refiere a las iteraciones que realiza el modelo para cada instancia, se puede ilustrar en la figura 9 un mejor comportamiento de este proceso:

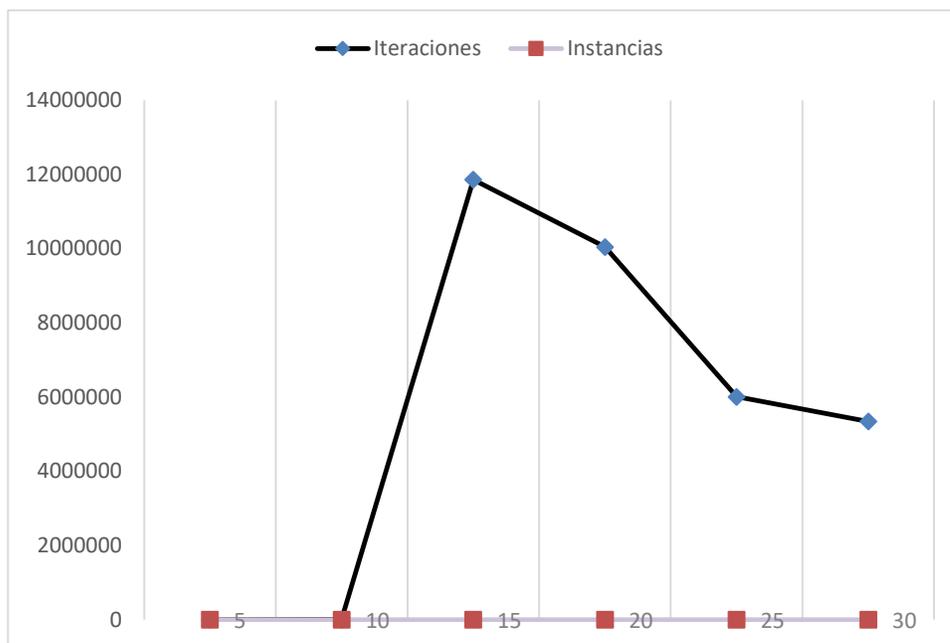


Figura 9. Iteraciones vs instancias

Fuente. Elaboración propia

La ilustración muestra la relación entre el número de iteraciones y pequeñas instancias, donde se ve claramente el ascenso exponencial que maneja, basta decir que con las condiciones que se manejó GAMS, hasta instancias de 15 clientes realiza las iteraciones necesarias para desarrollar de manera óptima el modelo teniendo en cuenta el tiempo permitido por defecto; una vez se trabaja con instancias mayores, se hace más complejo el modelo, y tarda cada vez más al realizar cada iteración, mientras que el tiempo computacional queda constante, no alcanza a terminar de efectuar las repeticiones necesarias para su desarrollo.

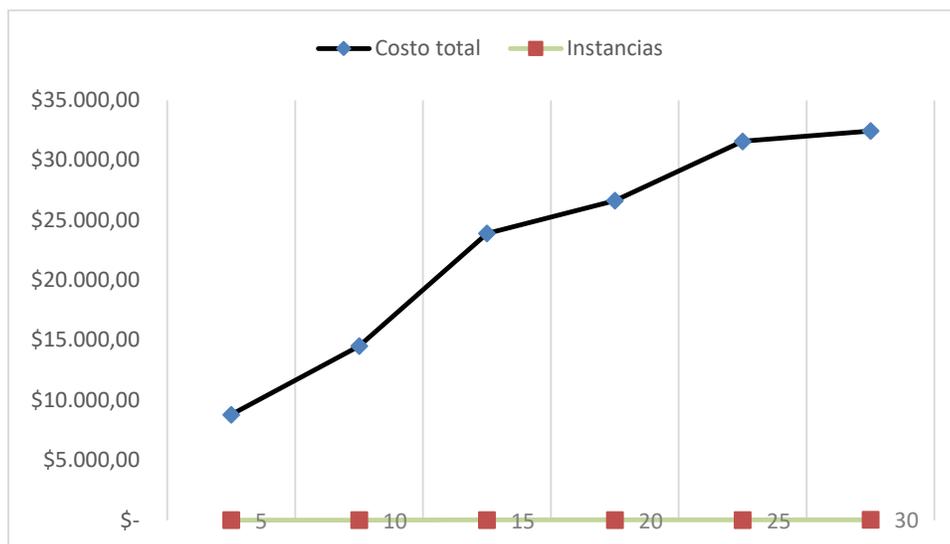


Figura 10. Costo total vs Instancias

Fuente. Elaboración propia

En la figura 10 se ilustra la relación de los costos arrojados por GAMS, es evidente el comportamiento lineal que presenta la gráfica, es normal que, al aumentar el número de clientes, tenga una reacción proporcional con los costos, lo que significa que se obtienen los resultados esperados conforme al modelo.

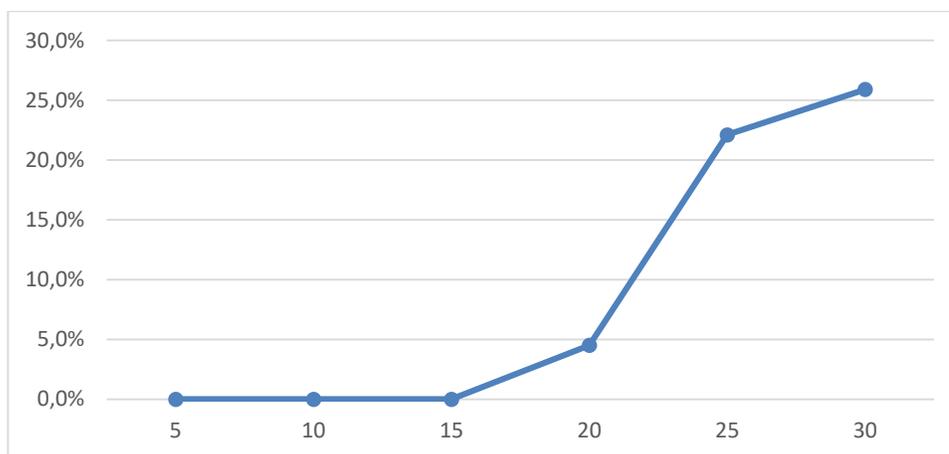


Figura 11. Relative Gap

Fuente. Elaboración propia

La figura 11 hace referencia al porcentaje de diferencia entre la mejor solución y el resultado total, haciendo énfasis que el nivel de optimalidad a las instancias de 5 hasta 15 son los mejores resultados, teniendo en cuenta que en los resultados de las instancias mayores discrepa mucho el porcentaje, por lo que se pierde el nivel óptimo. Esto quiere decir que solo con la opción OPTCR, para ayudar a minimizar dicho nivel, no es suficiente para la mejor solución del modelo a instancias mayores.

Estas comparaciones fueren de gran ayuda para ayudar a mejorar el modelo de forma considerable, en la resolución total de modelo, se tomaron otra opción como complemento a la OPTCR. Las nuevas opciones que se anexaron en la resolución fueron OPTCA y RESLIM, donde la primera es el criterio de optimalidad absoluta para problemas MIP, esta opción garantiza que la distancia entre la solución global y la actual sea la más corta posible, y su valor por defecto es 0; mientras que el RESLIM establece la limitante máximo de tiempo computacional a emplear en el sistema, una vez que se supere ese límite se paraliza el software, el valor preestablecido por defecto es 1000 (Sala, 2015).

A continuación, se realizará la tabulación de la solución total del problema con los criterios antes mencionados:

Tabla 20

Resultados del modelo

Criterio 1	Criterio 2	Tiempo comp (seg)	Iteraciones	Costo total	Relative Gap
Reslim=1800	Optca=0	1802,447	646212	\$ 115 324,92	42,8%
Reslim=1800	Optca=1000	1801,226	694317	\$ 119 897,82	44,9%
Reslim=3600	Optca=0	3601,839	1432314	\$ 108 760,63	36,8%
Reslim=3600	Optca=1000	3601,427	1451603	\$ 114 040,88	39,7%
Reslim=5400	Optca=0	5401,528	2261266	\$ 103 367.45	33,1%
Reslim=5400	Optca=1000	5402,665	937541	\$ 111 450.82	39,4%

Fuente: Elaboración propia

Para la resolución del problema completo, se experimentó con criterios del solver Cplex que según Herazo (2012) hace uso de diferentes técnicas para la implementación del algoritmo de ramificación. Los criterios con los que se probaron para solucionar el modelo son Reslim, el cual establece la limitante de recurso tiempo al emplear el sistema; los valores con los que se probaron son 1800, 3600 y 5400 que hacen referencia a 30, 60 y 90 minutos respectivamente; la decisión de ampliar el tiempo computacional se tomó para que se hicieran mayores iteraciones y por ende obtener mejores resultados. El segundo criterio que se utilizó fue Optca, el cual realiza un proceso de solución y detiene el sistema cuando el parámetro de solución asegura una mejor solución global con respecto a la solución actual, se utilizó el valor 0, el cual es el valor por defecto de este criterio, y se experimentó con el valor 1000 para la obtención de mejores resultados.

Es de observarse en la Tabla 19 la mejor solución de todas las variables probadas para la obtención de un mejor resultado a la hora del desarrollo de la ruta

Tabla 21

Mejor resultado

Mejor solución encontrada: Reslim= 5400; Optca=0		
Costo = 103 367.45		
Costo total	Relative Gap	Tiempo (seg)
\$ 103 367.45	33,1%	5401,528

Fuente: Elaboración propia

6.2. Comparación de resultados

A lo largo del desarrollo del documento se establecieron parámetros para la reducción de costos, los cuales se convierten en base fundamental del desenlace del mismo. Para mejorar la síntesis y obtener una mejor perspectiva de lo obtenido, se parametriza el caso de estudio en el cual se pretende minimizar los costos de la empresa con los arrojados por GAMS.

En la Figura 13 se ilustra a modo de comparación los costos de las rutas diseñadas por la empresa y los obtenidos por GAMS, como se muestra a continuación.



Figura 12. Resultados obtenidos

Fuente: Elaboración propia

Se hace notoria la disminución en costos de lo arrojado por GAMS con respecto a lo manejado actualmente por la empresa en una disminución aproximada del 36,25%, lo que hace viable y factible la ejecución del plan de rutas obtenido por el software. La reducción en dinero tiene una disminución de \$ 58.781,14 pesos semanales, lo que conlleva a una reducción de \$235.124,56 pesos mensuales y de \$2.821.494,72 pesos anuales.

Cabe resaltar que se minimizo el número de rutas en cantidad de 1, ya que la empresa maneja 6 rutas, y GAMS al momento de culminar la corrida arroja 5 rutas en total a lo largo de la semana.

7. Conclusión

La minimización de costos es uno de los factores que motivan a empresas y organizaciones a la mejora y desarrollo de distintos métodos en vía de la permanencia en el mercado. Con el objetivo presente, se desarrolló un modelo matemático en el campo de la programación entera mixta (MIP) y de esta manera resolver el problema de ruteo de vehículos con flota homogénea, restricciones de capacidad y tiempo.

Con base a la revisión bibliográfica se obtuvo que el VRP tiene una gran cantidad de variaciones que se asemejan a problemas de la vida real, y se dificulta entre más aumente el número de restricciones y la cantidad de clientes a visitar. Para su resolución existen variedad de métodos entre los cuales se destacan los exactos, por arrojar mejores resultados.

En la caracterización que se realiza a la empresa, se desarrollan los métodos utilizados por la misma en el proceso de distribución de productos a sus diferentes clientes, y se encuentra semejanza en los modelos de ruteo con el problema presente en la empresa, donde se presenta las propiedades del vehículo que emplean, los productos y sus clientes; también se muestra las diferentes rutas que se utilizan en el suministro de mercancías.

Para la creación del modelo propuesto se tomó como referencia variante puntuales como es el CVRP, donde ayudo a plantear las restricciones de capacidad con base a vehículos homogéneos, y el VRPTC que establece el uso de tiempo máximo del vehículo, haciendo semejanza a la jornada laboral diaria y de esta manera establecer la similitud del proceso de distribución en la empresa.

En la resolución del problema se tomó a GAMS para su desarrollo, donde se anexaron algunos criterios que mejoran los resultados obtenidos sacrificando un poco el tiempo computacional. Algunos de los datos inmersos en el programa fueron recolectados con la ayuda del aplicativo Google Maps, el cual permitió un acercamiento con la realidad de las rutas de

Sincelejo en cuanto a distancias y tiempos entre clientes. Dicha aplicación permite la georreferenciación de clientes donde toma valores de latitud y longitud lo que ayudo a establecer la matriz de costo real.

En la obtención de resultados comparándolo con los de la empresa, se sabe que generaron un ahorro aproximado del 36,25 %, este ahorro es mayor al arrojado por el método de algoritmos genéticos empleado en la investigación de Guasmayan-Guasmayan (2014).

Referencias Bibliográficas

- Alvarez, D. (2014). Diseño óptimo de rutas para una empresa que brinda servicios de paquetería, mensajería y logística, 1–71.
- Archetti, C., Feillet, D., Gendreau, M., & Speranza, M. G. (2011). Complexity of the VRP and SDVRP, *19*, 741–750. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2009.12.006>
- Bae, S., & Hwang, H. S. (2007). Integrated GA-VRP solver for multi-depot system, *53*, 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.06.014>
- Baldacci, R., Mingozzi, A., & Roberti, R. (2012). Recent exact algorithms for solving the vehicle routing problem under capacity and time window constraints. *European Journal of Operational Research*, *218*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.07.037>
- Baños, R., Ortega, J., Gil, C., Fernández, A. y, & De Toro, F. (2013). A Simulated Annealing-based parallel multi-objective approach to vehicle routing problems with time windows. *Expert Systems with Applications*, *40*(5), 1696–1707. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.09.012>
- Bermeo Muñoz, E. a, & Calderón Sotero, J. H. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El Hombre Y La Máquina*, *32*(32), 52–67.
- Bin, Y., Zhong-zhen, Y., & Baozhen, Y. (2009). An improved ant colony optimization for vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, *196*(1), 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.02.028>
- Cáceres-Cruz, J. de J. (2013). Randomized Algorithms for Rich Vehicle Routing Problems : From a Specialized Approach to a Generic Methodology José de Jesús Cáceres Cruz, (July).
- Calviño Martínez, A. (2011). Cooperación en los problemas del viajante (TSP) y de rutas de vehículos (VRP): una panorámica., 112.
- Carro, R., & Gonzalez, D. (2012). Logística Empresarial. *Administración de Las Operaciones. Universidad Nacional de Mar Del Plata*, 57.
- Castañeda, J., & Cardona, J. (2014). Implementación del método del ahorro para resolver el VRP aplicado al diseño de una red de logística inversa para la recolección de aceite vehicular usado generado en los puntos de acopio , en Pereira, 135.

- Castro, J., Landa, D., & Moreno, J. (2013). Generador modulable de instancias para problemas de rutas de vehículos, (1).
- Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D., & Vidal, T. (2014). A memetic algorithm for the Multi Trip Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 236(3), 833–848. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.06.012>
- Credivehículos. (2015). CAMION JAC 1050 DE 5.0 TONELADAS - Crédito de vehículos - Credivehículos. Retrieved June 4, 2017, de <http://www.credivehiculos.com/camion-jac-1050-de-50-toneladas/concesionario/concesionario-jac/camion-jac-1050-de-5-toneladas>
- Damián, B., & Di Piazza, G. (2012). Ruteo de vehículos y asignación de conductores: un enfoque combinado, 100.
- Daza, J. M., Montoya, J. R., & Narducci, F. (2009). Resolución de problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases. *Eia*, 1(12), 23–38.
- Díez de castro, E., & Navarro, A. (2005). Naturaleza de la DISTRIBUCIÓN, 359, 1–13.
- Donati, A. V, Montemanni, R., Casagrande, N., Rizzoli, A. E., & Gambardella, L. M. (2008). Time dependent vehicle routing problem with a multi ant colony system, 185, 1174–1191. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.047>
- Ezzatneshan, A. (2015). Vehicle Routing Optimization Using Spanning Tree and Ant Colony, 2015(6), 107–115.
- GAMS. (2017). The Solver Manuals, 1–1084. Recuperado de <https://www.gams.com/latest/docs/solvers/allsolvers.pdf>
- García, I. D. (2010). problema de ruteo de vehículos, 1–33. Recuperado de <http://lya.fciencias.unam.mx/computocientifico/archivos/RuteoVehiculos.pdf>
- García, S. P. (2015). El problema del viajante . Métodos de resolución y un enfoque hacia la Teoría de la Computación.
- Gómez, D., & Rangel, C. (2011). Formular las Metaheurísticas Búsqueda Tabú y Recocido Simulado para la solución CVRP. *Tesis*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- González, P. D. (2013). Transporte y Logística Internacional.
- Guasmayan-Guasmayan, F. A. (2014). Solución del problema de ruteo de vehiculos dependientes del tiempo utilizando un algoritmo genetico modificado, 187.

- Herazo, N. (2012). Modelación matemática del problema de ruteo de vehículos con restricciones de múltiples depósitos, flota heterogénea de vehículos y ventanas de tiempos 1, 1–147. Recuperado de <http://repositorio.cuc.edu.co/xmlui/bitstream/handle/11323/90/1129495709.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Iqbal, S., Kaykobad, M., & Rahman, M. S. (2015). Solving the multi-objective Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows with the help of bees. *Swarm and Evolutionary Computation*, 24, 50–64. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2015.06.001>
- Jawarneh, S., & Abdullah, S. (2015). Sequential insertion heuristic with adaptive bee colony optimisation algorithm for vehicle routing problem with time windows. *PLoS ONE*, 10(7), 1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130224>
- Katiyar, S. (2014). Integrating Fuzzy and Ant Colony System for Fuzzy Vehicle Routing Problem with Time Windows. *International Journal on Computational Sciences & Applications (IJCSA)*, 4(5), 73–85. <https://doi.org/10.5121/ijcsa.2014.4506>
- Lazaro, A. (2013). Investigación de Operaciones: Estructura de los modelos empleados en la Investigación de Operaciones. Retrieved June 4, 2017, de <http://investigaciondeoperaciones-upc.blogspot.com.co/2013/10/estructura-de-los-modelos-empleados-en.html>
- Lozada, A., & Cadena, R. (2012). Solución del problema de ruteo de vehiculos con ventanas de tiempo, 1. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Lüer, A., Benavente, M., Bustos, J., & Venegas, B. (2009). El problema de rutas de vehiculos: Extensiones y metodos de resolucion estado del arte. *CEUR Workshop Proceedings*, 558.
- Medina, J., & Yepes, V. (2000). Optimización de Redes de Distribución con Algoritmos Genéticos, 1–8. Recuperado de <http://personales.upv.es/vyepesp/00MYX07.pdf>
- Mediorreal, A. (2014). Laboratorios Veterland , Laboratorios Callbest y Cosméticos Marliouü París Trabajo de grado Presentado por : Andrés Felipe Mediorreal Carrillo Directora : María Paula Ramírez PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL BOGOTÁ 201, 1–65.
- Melián-Batista, B., De Santiago, A., Angelbello, F., & Alvarez, A. (2014). A bi-objective vehicle routing problem with time windows: A real case in Tenerife. *Applied Soft Computing Journal*, 17, 140–152. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.12.012>

- Ministerio de Hacienda y Credito Publico. (2016). 9 ole 2016 PUBLiaUESE y CÚMPLASE. Recuperado de [http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO 2068 DEL 19 DE DICIEMBRE DE 2016.pdf](http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO_2068_DEL_19_DE_DICIEMBRE_DE_2016.pdf)
- Monterroso, E. (2000). El proceso logístico y la gestión de la cadena de abastecimiento. *Organizacion Mundial Del Comercio*, 33. Recuperado de <http://www.unlu.edu.ar/~ope20156/pdf/logistica.pdf>
- Mora, M. (2009). GAMS, ejemplos introductorios, 1–26.
- Olivera, A. (2004). Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos. Recuperado de <https://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf>
- Pavco. (2014). Manual Técnico Tubosistemas Sanitaria.
- Pérez, D., Lario, F.-C., & Alemany, M. (2010). Descripción detallada de las Variables de Decisión en Modelos basados en Programación Matemática en un contexto de Planificación Colaborativa de una Red de Suministro / Distribución (RdS/D), 1631–1640. Recuperado de http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2010/QUANTITATIVE_METHODS/1631-1640.pdf
- Proquimco SAS. (2017). PROQUIMCO SAS. Retrieved June 4, 2017, de <https://www.computrabajo.com.co/empresas/ofertas-de-trabajo-de-proquimco-sas-956F10BB50F11460>
- Quesada-Pineda, H., Buehlmann, U., & Arias, E. (2012). Pensamiento Lean : Ejemplos y Aplicaciones en la Industria de Productos de Madera. *Virginia State University*, 1–17.
- RAE. (2012). Definición de modelo - Qué es, Significado y Concepto. Recuperado June 4, 2017, de <http://definicion.de/modelo/>
- Ramos, A., Cerisola, S., & Latorre, J. (2017). Desarrollo de modelos de optimización con ILOG CPLEX, 1–43. Recuperado de https://www.iit.comillas.edu/aramos/presentaciones/t_CPLEX_ar.pdf
- Ramos, A., Sánchez, P., Ferrer, J., Barquín, J., & Linares, P. (2010). Modelos Matemáticos de Optimización, 1–55. Recuperado de https://www.gams.com/fileadmin/community/contrib/doc/modelado_en_gams.pdf
- Ramos, S. (2007). 71 . 14 Modelos y Optimización I Heurísticas y Problemas Combinatorios, 1–16.
- Ribas, S., Subramanian, A., Machado, I., Satoru, L., Jamilson, M., & Souza, F. (2011). A hybrid algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows.

- Rodríguez, J. (2013). Capítulo 1 Introducción. *La Filosofía de La Ciencia de Descartes*, 15–29. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2016.01.003>
- Sala, R. (2015). Modelación y Optimización, 1–79. Recuperado de <http://www.uv.es/~sala/gams/14.PDF>
- Sarache, W., Tamayo, J., & Builes, S. (2007). *UN ELEMENTO ESTRATÉGICO* (primera ed). Manizales, Caldas, Colombia.
- Sepúlveda, J., Escobar, J., & Adarme-Jaimes, W. (2014). An algorithm for the routing problem with split deliveries and time windows (SDVRPTW) applied on retail SME distribution activities. *DYNA*, 81(187), 223–231. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n186.46104>
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Gazanfarí, M., Alinaghian, M., Salamatbakhsh, A., & Norouzi, N. (2011). A new mathematical model for a competitive vehicle routing problem with time windows solved by simulated annealing. *Journal of Manufacturing Systems*, 30(2), 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2011.04.005>
- Vásquez Morales, M. A. (2007). Desarrollo de un framework para el problema de ruteo de vehículos.
- Vazquez, R. (2012). Introduccion a la Optimizacion, 1–23. Recuperado de http://www.rvazquez.org/Misitio/Materialia2_files/objetodeestudio1ia2.pdf
- Velazquez, E. (2012). *Canales de Distribucion y Logistica*.
- Vidal, T., Crainic, T. G., Gendreau, M., & Prins, C. (2013). A hybrid genetic algorithm with adaptive diversity management for a large class of vehicle routing problems with time-windows. *Computers & Operations Research*, 40(1), 475–489. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.07.018>

Anexo 3: Lista de clientes

#	CLIENTE	#	CLIENTE	#	CLIENTE
1	PROQUIMCO	40	FERROMAT DE LA SABANA	79	FERRET LOS PALMITOS
2	FERRO EL PESCADOR	41	FERRO EL BUEN MAESTRO	80	MATERIALES GUEPAJE
3	FERRO SINCELEJO	42	OMEGA FERRETERIA	81	FERROMAT TUMBABURRO
4	MATERIAL LAGUNA	43	PUNTO CLAVE DE CONST.	82	FERROCENTRO
5	FERRET TAMARINDO	44	MATERIALES LA CEIBA	83	FERRET CENTRAL 1
6	PROVISION CACIQUE	45	PINTURAS Y FERRET LA 17	84	FERRET CARIBE
7	MAT JERUSALEM	46	SUPERCONSTRUCCIONES	85	FERRO LOS SOCIOS
8	MATERIALES DAJUD	47	FERRET ITUANGO	86	CONSTRUYA
9	FERRETERIA EL PAISA	48	FERROMOJANA	87	SUPER BETULIA
10	SERVIMATERIALES	49	FERRET DON CHECHO	88	FERRETERIA LA FE
11	FEROCENTRO	50	PINTUCENTRO DS	89	MATERIAL CONSTRUCCION
12	FERRET BETO	51	COMERCIALIZADOR BETEL	90	FERRETERIA SAN JUAN
13	FERRET LEIVER	52	FERROMELISSA	91	FERRET CARIBE J Y R SAS
14	FERRO LA FABRICA	53	FERROMATERIALES ELITE	92	FERRO LA MACARENA
15	FERROCHOCHO	54	FERROPINTURAS	93	FERRET LA PUERTA
16	MAT LA UNION FYF	55	RM DISTRIBUCIONES	94	FERRETERIA MARY
17	FERRET DEIVI	56	FERRET JAIME	95	MATERIALES COROZAL
18	FERROMAX	57	BLOQUES BITAR	96	SERVIMATERIAL LA ROCA
19	FERRO CANCHILA	58	FERRET EL CAMPO LA 22	97	ACABADOS DE LA SABANA
20	FERRET FRONTERA	59	FERRET M Y N	98	FERRET LAS BRISAS
21	FERRET KRRASCO	60	CONSTRUIMOS LA 23	99	MULTIMATERIALES
22	FERROMAT EL PAISA	61	LA SUPERFERRETERIA	100	FERRO SAN BLAS
23	FERRE GRAN BODEGA	62	FERRET DE LA ESPRIELLA	101	MI CASA FERRET
24	FERRET LA NARCIZA	63	FERRET L Y L	102	FERRET CALDAS
25	FERRET GAVIRIA	64	FERRET SUIZA	103	MATERIALES GUACARY
26	FERROVARIEDAD RC	65	REPRESENT CARIBE	104	CONSTRUCAUCA
27	FERRET MAFRE	66	FERROPUNTO	105	FERRET G 42 SAS
28	FERRROM ARGELIA	67	MEGACONSTRUCCIONES	106	FERRO DS

29	MATERIAL ARDIMAR	68	FERRET EL CHINO	107	FERRET LA 21
30	FERRO DEL CARIBE	69	FERRO TMYF	108	FERROSOLUCION CAMILA
31	FERRO KIKE	70	FERROTECNICA	109	MATERIALES EL EXITO
32	FERRO SAN PEDRO	71	GRUPO FERCON	110	FERROPINTURAS LA 23
33	FERRO KATRY	72	FERRET LUDESA	111	FERRO PINTURAS DE SUCRE
34	FERROMAT ADA	73	INDEHOGAR	112	MI CASITA
35	FERRET EL PROFE	74	FERRO DON PEDRO	113	EL PUNTO DE LOS COLORES
36	FERRE EL COMIENZO	75	FERRET DEL BOSQUE	114	SUCRE PINTURA
37	FERRO LA ECONOMIA	76	FERRO EL PORVENIR	115	FERRET L Y M
38	ONE CENTER	77	FERRET LIBERTAD	116	BIMCOL S.A.S
39	BLOQUERA PIVAR	78	BETHEL LOS PALMITOS		

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 4: Ruta # 1

DIA	TURNO	CLIENTE
1	1	PROQUIMCO
1	1	FERROINSUMOS EL PESCADOR
1	2	FERROCONSTRUCCIONES SINCELEJO
1	3	MATERIALES LA LAGUNA
1	4	GRANERO Y FERRET EL TAMARINDO
1	5	PROVISIONES EL CACIQUE
1	6	MATERIALES JERUSALEM
1	7	MATERIALES DAJUD
1	8	FERRETERIA EL PAISA
1	9	SERVIMATERIALES
1	10	FERROCENTRO SAMPUES
1	12	FERRET BETO
1	13	FERRET LEIVER
1	14	FERROMATERIALES LA FABRICA
1	15	FERROCAMPO CHOCHO

1	16	MATERIALES LA UNION FYF
1	17	FERRET DEIVI
1	18	FERROMAX
1	19	FERROELECTRICOS CANCHILA
1	20	FERRET LA FRONTERA
1	1	PROQUIMCO

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 5: Ruta # 2

DIA	TURNO	CLIENTE
2	1	PROQUIMCO
2	2	FERRET KRRASCO
2	3	FERROMATERIALES EL PAISA
2	4	FERRET LA GRAN BODEGA
2	5	FERRET LA NARCIZA
2	6	FERRET GAVIRIA
2	7	FERROVARIEDADES RC
2	8	FERRET Y MATERIALES MAFRE
2	9	FERRROMAT Y EQUIPOS ARGELIA
2	10	MATERIALES Y FERRET ARDIMAR
2	11	FERROMATERIALES DEL CARIBE
2	12	FERRO KIKE
2	13	FERRO SAN PEDRO
2	14	FERRO KATRY
2	15	FERROMATERIALES ADA
2	16	FERRET EL PROFE
2	17	FERRET EL COMIENZO
2	18	FERROCONST. LA ECONOMIA
2	19	ONE CENTER
2	1	PROQUIMCO

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 6: Ruta # 3

DIA	TURNO	CLIENTE
3	1	PROQUIMCO
3	2	BLOQUERA Y FERRETERIA PIVAR
3	3	FERROMATERIALES DE LA SABANA
3	4	FERROELEC. EL BUEN MAESTRO
3	5	OMEGA FERRETERIA
3	6	EL PUNTO CLAVE DE LA CONST.
3	7	MATERIALES LA CEIBA
3	8	PINTURAS Y FERRET LA 17
3	9	FERRET SUPERCONSTRUCCIONES
3	10	FERRET ITUANGO
3	11	FERROMOJANA
3	12	FERRET DON CHECHO
3	13	PINTUCENTRO DS
3	14	COMERCIALIZADORA BETHEL
3	15	FERROMELISSA
3	16	FERROMATERIALES ELITE
3	17	FERROPINTURAS
3	18	RM DISTRIBUCIONES
3	19	FERRET JAIME
3	20	FABRICA DE BLOQUES BITAR
3	1	PROQUIMCO

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 7: Ruta # 4

DIA	TURNO	CLIENTE
4	1	PROQUIMCO
4	2	FERRET EL CAMPO LA 22 S.A.S
4	3	FERRET M Y N

4	4	CONSTRUIMOS LA 23
4	5	LA SUPERFERRETERIA
4	6	FERRET DE LA ESPRIELLA
4	7	FERRET L Y L
4	8	FERRET SUIZA
4	9	REPRESENTACIONES DE CEMENTO CARIBE
4	10	FERROPUNTO
4	11	FERRET MEGACONSTRUCCIONES
4	12	FERRET EL CHINO
4	13	FERRO TMYF
4	14	FERROTECNICA
4	15	DISTRMATERIALES FERCON
4	16	FERRET Y EQUIPOS LUDESA
4	17	INDEHOGAR
4	18	FERRO DON PEDRO
4	19	FERRET INTEGRAL DEL BOSQUE
4	20	FERROCONST. EL PORVENIR
4	1	PROQUIMCO

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 8: Ruta # 5

DIA	TURNOS	CLIENTE
5	1	PROQUIMCO
5	2	FERRET Y MAT. LIBERTAD
5	3	FERRET BETHEL LOS PALMITOS
5	4	FERRET LOS PALMITOS
5	5	MATERIALES GUEPAJE
5	6	FERROMAT. TUMBABURRO
5	7	FERROCENTRO
5	8	FERRET CENTRAL 1
5	9	FERRET CARIBE

5	10	FERROELEC. LOS SOCIOS
5	11	CONSTRUYA
5	12	SUPERMATERIALES BETULIA
5	13	FERRETERIA LA FE
5	14	MATERIALES Y CONST. JC
5	15	FERRETERIA SAN JUAN
5	16	FERRET CARIBE J Y R SAS
5	17	FERROPINT. LA MACARENA
5	18	FERRET LA PUERTA DEL SOL
5	19	FERRETERIA MARY
5	20	MATERIALES COROZAL
5	21	SERVIMAT. Y FERRET LA ROCA
5	22	ESTUCO Y ACA. DE LA SABANA
5	23	FERRET LAS BRISAS
5	24	MULTIMATERIALES COROZAL
5	25	FERROMATERIALES SAN BLAS
5	26	MI CASA FERRET
5	1	PROQUIMCO

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 9: Ruta # 6

DIA	TURNO	CLIENTE
6	1	PROQUIMCO
6	2	FERRET CALDAS
6	3	MATERIALES E INSUMOS GUACARY
6	4	CONSTRUCAUCA
6	5	FERRET G 42 SAS
6	6	FERRO DS
6	7	FERRET LA 21
6	8	FERROSOLUCIONES CAMILA
6	9	MATERIALES EL ÉXITO
6	10	FERROPINTURAS LA 23

6	11	FERROELEC. Y PINTURAS DE SUCRE
6	12	MI CASITA
6	13	EL PUNTO DE LOS COLORES
6	14	SUCRE PINTURA
6	15	FERRET L Y M
6	16	BIMCOL S.A.S
6	1	PROQUIMCO

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 10: Historial de compra (Semana)

N°	Nombre	Peso (Kg)	Cantidad	Relativa	Acumulada
1	Pegadur cerámico gris	25	476	42,12%	42,12%
2	Duraboquilla cerámica blanca	2	90	7,96%	50,08%
3	Tubo sanitario 3"	4	80	7,08%	57,16%
4	Tubo sanitario 4"	5.8	74	6,55%	63,71%
5	Blancodur boquilla blanca	2	64	5,66%	69,37%
6	Duraflex mastic caja 3.5	20	53	4,69%	74,06%
7	Tubo sanitario 2"	2.4	46	4,07%	78,13%
8	Pegadurmix	2	45	3,98%	82,11%
9	Tubo sanitario 1-1/2"	1.8	31	2,74%	84,85%
10	Duraboquilla cerámica beige	2	30	2,65%	87,5%
11	Blancodur boquilla beige	2	30	2,65%	90,15%
12	Dekora tipo 2 galón	5	20	1,77%	91,92%
13	Duraflex estuco exterior galón	5,6	17	1,50%	93,42%
14	Dekora tipo 1 galón	5	12	1,06%	94,48%
15	Dekora tipo 3 galón	5	12	1,06%	95,54%
16	Pegadur cerámico gris	10	12	1,06%	96,6%
17	Duraflex estuco exterior cuñete	28	10	0,88%	97,48%
18	Duraflex estuco exterior caja 3.5	20	8	0,71%	98,19%
19	Duraflex estuco interior caja 3.5	20	4	0,35%	98,54%
20	Dekora tipo 2 cuñete	25	3	0,27%	98,81%

21	Duraflex estuco base caja 3.5	20	2	0,18%	98,99%
22	Duraflex estuco exterior caja 5	28	1	0,09%	99,08%
23	Duraflex estuco interior caja 5	28	1	0,09%	99,17%
24	Dekora tipo 1 cuñete	25	1	0,09%	99,26%
25	Dekora tipo 3 cuñete	25	1	0,09%	99,35%
26	Duraflex mastic galón	5,6	1	0,09%	99,44%
27	Duraflex estuco interior galón	5,6	1	0,09%	99,53%
28	Duraflex estuco base caja 5	28	1	0,09%	99,62%
29	Duraflex estuco base cuñete	28	1	0,09%	99,71%
30	Duraflex estuco interior cuñete	28	1	0,09%	100,00%

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 11: Tiempos de Servicio

#	CLIENTE	TS	#	CLIENTE	TS	#	CLIENTE	TS
1	FERRO PESCADOR	11	40	BUEN MAESTRO	13	79	MAT GUEPAJE	12
2	FERRO SINCELEJO	15	41	OMEGA FERRET	12	80	TUMBABURRO	13
3	LA LAGUNA	15	42	CLAVE DE CONST	14	81	FERROCENTRO	12
4	EL TAMARINDO	15	43	MAT LA CEIBA	15	82	FERRET CENTRAL 1	11
5	EL CACIQUE	13	44	FERRET LA 17	9	83	FERRET CARIBE	10
6	MAT JERUSALEM	8	45	FERRET SUPER	12	84	FERRO LOS SOCIOS	11
7	MAT DAJUD	10	46	FERRET ITUANGO	11	85	CONSTRUYA	13
8	FERRET EL PAISA	11	47	FERROMOJANA	9	86	SUPERMAT BETULIA	9
9	SERVIMATERIALES	11	48	FERRET CHECHO	12	87	FERRETERIA LA FE	11
10	FERRO SAMPUES	7	49	PINTUCENTRO DS	8	88	MAT Y CONST JC	9
11	FERRET BETO	13	50	COMERC BETHEL	11	89	FERRET SAN JUAN	9
12	FERRET LEIVER	13	51	FERROMELISSA	7	90	FERRET CARIBE J Y R	12
13	FERRO FABRICA	13	52	FERROMAT ELITE	8	91	LA MACARENA	14
14	FERRO CHOCHO	7	53	FERROPINTURAS	10	92	LA PUERTA DEL SOL	13
15	LA UNION FYF	15	54	RM DISTRIBUCION	10	93	FERRETERIA MARY	10
16	FERRET DEIVI	11	55	FERRET JAIME	7	94	MAT COROZAL	9
17	FERROMAX	15	56	FABRICA BITAR	8	95	FERRET LA ROCA	7

18	FERRO CANCHILA	14	57	FERRO CAMPO	22	9	96	ACABADOS SABANA	9
19	FERRET FRONTERA	10	58	FERRET M Y N		15	97	FERRET LAS BRISAS	14
20	FERRET KRRASCO	11	59	CONST LA 23		11	98	MULTIMATERIALES	13
21	FERRO EL PAISA	10	60	LA SUPER		11	99	FERRO SAN BLAS	15
22	LA GRAN BODEGA	10	61	FERRO ESPRIELLA		10	100	MI CASA FERRET	12
23	FERRET NARCIZA	15	62	FERRET L Y L		8	101	FERRET CALDAS	14
24	FERRET GAVIRIA	7	63	FERRET SUIZA		7	102	INSUMOS GUACARY	15
25	FERRO RC	15	64	CEMENT CARIBE		13	103	CONSTRUCAUCA	8
26	FERRET MAFRE	8	65	FERROPUNTO		14	104	FERRET G 42 SAS	9
27	FERRR. ARGELIA	13	66	FERRE MEGACON		8	105	FERRO DS	12
28	FERRET ARDIMAR	12	67	FERRET EL CHINO		10	106	FERRET LA 21	7
29	FER. DEL CARIBE	8	68	FERRO TMYF		13	107	FERROSOL CAMILA	8
30	FERRO KIKE	7	69	FERROTECNICA		14	108	MATE EL EXITO	11
31	FERRO SAN PEDRO	9	70	GRUPO FERCOM		13	109	FERROPINT LA 23	12
32	FERRO KATRY	13	71	FERRET LUDESA		13	110	FERRO DE SUCRE	13
33	FERROMAT ADA	13	72	INDEHOGAR		11	111	MI CASITA	8
34	FERRET EL PROFE	15	73	FERRO PEDRO		7	112	PUNTO COLORES	10
35	FERRET COMIENZO	7	74	FERRET BOSQUE		14	113	SUCRE PINTURA	7
36	FERRO ECONOMIA	14	75	FERRO PORVENIR		8	114	FERRET L Y M	13
37	ONE CENTER	13	76	FERRO LIBERTAD		9	115	BIMCOL S.A.S	10
38	FERRET PIVAR	13	77	BETEL PALMITOS		14			
39	FERRO LA SABANA	8	78	FERRO PALMITOS		9			

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 12: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	0,14	2,4	4,3	7,9	16	16	16	16	16	16	16,8	15	15	15	7,8	7	7	7,1	1,5
2	0,1	0	2,3	2,6	7,8	16	16	16	16	16	16	16,7	15	15	14	7,7	7	6,9	7	1,7
3	2,4	2,3	0	1,9	5,5	14	14	14	14	14	14	14,7	12	12	12	5,4	5	4,6	4,7	4
4	5	4,9	2,6	0	4,2	5	12	13	12	12	13	13	12	12	12	5	4	4,2	4,3	6,5
5	7,9	7,8	5,5	4,7	0	8	8,3	8,5	8,5	8,4	8,6	8,9	15	15	15	7,9	7	7,1	7,2	9,4
6	16	16	16	13	8,3	0	0,21	0,2	0,2	1	3	0,5	9,4	9,4	9,4	16	16	15	15	18

7	16	16	16	13	8,3	0,2	0	0,2	0,2	1	3	0,5	9,4	9,4	9,4	16	16	15	15	18
8	16	16	14	13	8,5	0,2	0,21	0	0,1	2	3	0,5	9,3	9,3	9,4	16	16	15	16	18
9	16	16	14	13	8,5	0,1	0,16	0,3	0	2	2	0,4	9,4	9,4	9,4	16	16	15	16	18
10	16	16	14	13	8,4	0,1	0,11	0,2	0,1	0	2	0,4	9,3	9,3	9,4	16	16	15	15	18
11	17	17	14	14	9	0,5	0,45	0,5	0,2	3	0	0,22	9,8	9,8	9,8	17	17	16	16	18
12	17	16	14	13	8,4	0,5	0,5	0,7	0,5	5	1	0	9,9	9,9	9,9	17	17	16	16	18
13	15	15	12	11	15	9,3	9,3	9,4	9,4	9	9	9,8	0	0,8	0,1	6,9	6	7,6	8,2	16
14	15	15	12	11	15	9,3	9,3	9,4	9,4	9	9	9,8	0,8	0	0,1	6,9	6	7,6	8,2	16
15	15	14	12	11	15	9,3	9,4	9,4	9,4	9	9	9,8	0,1	0,1	0	6,8	6	7,6	8,1	16
16	7,8	7,7	5,4	4,3	7,9	2,6	16	16	16	16	16	17	6,9	6,9	6,8	0	0,5	0,8	1,3	9,3
17	7,8	7,6	5,3	4,3	7,9	2,6	16	16	16	16	16	17	6,9	6,9	6,8	0,05	0	0,8	1,3	9,3
18	7	6,9	4,6	3,5	7,1	1,8	15	15	15	15	16	16	7,6	7,6	7,6	0,8	0,7	0	0,55	8,5
19	8,6	8,5	6,2	5,1	8,7	2,3	15	17	17	17	17	17	17	17	8,9	8,8	2	2	0	10
20	1,5	1,7	4	5,8	9,4	18	18	18	18	18	18	18	16	16	16	9,3	9	8,6	8,7	0
21	7,1	7	2,3	1,9	5,5	14	14	14	14	14	11	14	12	12	12	5,4	5	4,6	4,7	4
22	7,2	7,1	4,7	3,7	7,3	15	15	16	16	16	16	16	8,4	8,7	8,3	1,6	1	0,8	1,1	8,7
23	7,9	7,8	5,5	4,4	8	16	16	16	16	16	17	17	8,1	8,3	8	1,3	1	1	1,5	9,5
24	6,3	6,2	3,9	2,8	6,4	15	15	15	15	15	15	16	8,6	8,7	8,5	1,8	1	1	1,1	7,8
25	6,7	6,6	2,3	1,9	5,5	2,8	14	14	14	14	14	14	12	12	5,4	5,3	4	4,7	4	3,9
26	6,5	6,4	4,1	3	6,6	15	15	15	15	15	15	15	9,2	9,5	9,1	2,3	1	1	0,8	8,1
27	4,6	4,5	2,2	1,8	5,4	14	14	14	14	14	14	14	9,8	10	9,7	3	2	2,2	2,3	6,2
28	4,6	4,5	2,1	1,7	5,3	13	13,0	14,0	14,0	14	14	14,0	9,9	10	9,8	3,0	3	2,2	2,4	6,1
29	4,5	4,4	2,1	1,7	5,3	13	13,0	14,0	14,0	14	14	14,0	9,9	10,1	9,8	3,1	3,0	2,3	2,4	6,1
30	4,4	4,3	2,0	1,6	5,2	13	13,0	14,0	13,0	13	14	14,0	10,0	10,	9,9	3,2	3,1	2,4	6,0	1,7

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 13: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 2)

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	6,3	7	7,9	6,2	6,4	6,7	4,6	4,6	4,5	4,4	4	3,9	3,1	2,5	2,4	1,1	0,9	0,6	3,7	4,2
2	6,2	6,9	7,8	6,1	6,5	6,6	4,6	4,5	4,4	4,3	3,8	3,8	3	2,4	2,3	1	1	0,6	3,6	4,1
3	3,9	4,6	5,5	3,7	4,2	4,3	4,2	4,2	4,1	4	1,5	1,5	1,5	1,1	1	2	2,2	2,8	5,9	6,4
4	3,5	4,2	5,1	3,4	3,8	3,9	2,5	2,4	2,4	2,3	1,8	1,7	4,1	3,6	3,5	4,6	4,8	5,4	8,5	8,3
5	6,4	7,1	8	6,3	6,7	6,8	5,4	5,3	5,3	5,2	4,7	4,6	7	6,5	6,4	7,5	7,7	8,3	11	11
6	15	15	16	14	15	15	14	13	13	13	13	13	15	15	15	16	16	16	20	19

7	15	15	16	14	15	15	14	13	13	13	13	13	15	15	15	16	16	16	20	19
8	15	15	16	15	15	15	14	14	14	14	13	13	15	15	15	16	16	17	20	20
9	15	15	16	15	15	15	14	14	14	15	13	13	15	15	15	16	16	17	20	20
10	15	15	16	14	15	15	14	14	14	13	13	13	15	15	15	16	16	17	20	19
11	15	16	17	15	16	16	14	14	14	14	14	13	16	15	15	16	17	17	20	21
12	15	16	17	15	15	15	14	14	14	14	13	13	16	15	15	16	16	17	20	20
13	8,9	8,5	8,1	8,6	9,1	9,2	9,8	9,9	9,9	10	11	11	11	11	11	14	14	15	12	11
14	8,9	8,5	8,1	8,6	9,1	9,2	9,8	9,9	9,9	10	11	11	11	11	11	14	14	15	12	11
15	8,8	8,4	8	8,5	9	9,1	9,7	9,8	9,8	9,9	11	11	11	11	11	14	14	15	11	11
16	2,1	1,6	1,3	1,7	2,2	2,3	3	3	3,1	3,1	3,8	3,8	3,8	4,3	4,4	7,4	7,6	8,2	4,6	4,6
17	2	1,6	1,2	1,7	2,2	2,3	2,9	3	3	3,1	3,8	3,8	3,8	4,3	3,3	7,4	7,6	8,2	4,6	4,6
18	1,3	0,8	1	1	1,4	1,5	2,2	2,2	2,3	2,4	3	3	3,5	4,5	5,5	6,6	6,8	7,4	4,4	4,4
19	2,9	2,5	2,7	2,6	3	3,1	3,8	3,8	3,9	4	4,6	4,6	4,6	3,5	3,9	3,8	3,8	4	3,9	4,3
20	7,9	8,6	9,5	7,7	8,2	8,3	6,2	6,1	6,1	6	5,5	5,5	4,6	4,1	4	2,7	2,5	2,2	5,3	5,7
21	0	4,6	5,5	3,7	4,2	4,3	2,2	2,1	2,1	2	1,5	1,5	1,5	1,1	1	2	2,2	2,8	5,9	6,4
22	1,5	0	0,7	1,1	1,6	1,7	2,4	2,4	2,5	2,5	3,2	3,2	3,2	3,7	3,8	6,8	7	7,6	5	5
23	2,2	0,6	0	1,9	2,4	2,4	3,1	3,2	3,2	3,3	3,9	4	3,9	4,5	4,6	4,3	4,3	4,3	8,3	5,3
24	0,3	1	1,9	0	0,5	0,6	1,5	1,5	1,6	1,7	2,3	2,3	2,3	2,1	2,2	5,9	3,3	6,7	4,4	4,9
25	4,6	5,5	3,7	4,2	0	4,3	2,2	2,1	2,1	2	1,5	1,5	1,5	1,1	1	2	2,2	2,8	5,9	6,4
26	0,9	1,5	2,4	0,6	0,1	0	1	1	1,1	1,2	1,7	1,8	1,6	2,2	2,3	2,8	2,8	3,2	4,2	4,6
27	1,5	2,2	3,1	1,4	1,1	1,1	0	0,1	0,1	0,2	0,7	0,8	1,1	1,6	1,7	4,2	4,4	5	4,8	5,2
28	1,6	2,2	3,2	1,4	1,1	1,2	0,1	0	0,1	0,2	0,7	0,8	1,1	1,6	1,7	4,2	4,4	5	5,2	4,6
29	1,6	2,3	3,2	1,5	1,2	1,2	0,1	0,1	0	0,1	0,6	0,7	1,2	1,7	1,8	4,1	4,3	4,9	4,9	5,3
30	2,4	2,8	3,3	1,5	1,3	1,3	0,2	0,1	0,1	0	0,5	0,6	1,2	1,8	1,9	4,1	4,2	4,9	5	5,4

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 14: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 3)

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
1	3,6	3	3,1	2,6	2,6	2,4	2,2	2,2	1,4	1,4	1,1	1,1	1	1	0,9	1,1	1,3	1,5	1,5	2
2	3,5	3,1	3,1	2,6	2,5	2,4	2,1	2,2	1,4	1,3	1,1	1	0,95	0,95	0,8	0,95	1,2	1,4	1,5	1,9
3	5,8	5,4	5,4	4,9	4,8	4,7	4,6	4,7	3,7	3,7	3,6	3,4	3,3	3,3	3	3,2	2,8	2,8	2,7	2,6
4	8,3	7,9	7,9	7,4	7,4	7,3	7,2	7,1	7,2	7,2	6,2	6,1	5,9	5,9	5,8	5,8	5,8	5,4	5,2	5,2
5	11	11	11	10	10	10	10	10	9,1	9	8,8	8,8	8,7	8,7	8,6	8,3	8,1	8,1	8,2	7,8
6	19	19	19	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16

7	19	19	19	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16
8	20	19	19	19	19	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16
9	19	19	19	19	19	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16
10	19	19	19	19	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16
11	20	20	20	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17
12	20	20	19	19	19	19	19	19	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	16
13	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10
14	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10
15	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10
16	4,5	4,1	4,1	4,1	4,1	4	3,9	3,8	4,3	4,1	4	3,9	3,9	4	4	4,1	4	3,9	3,6	3,5
17	4,5	4,1	4,1	4,1	4	3,9	3,8	3,8	4,3	4,1	3	3,8	3,9	3,9	4	4,1	4	3,8	3,5	3,5
18	4,2	3,9	3,9	3,3	3,2	3	3,5	3,3	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,1	3,1	2,8	2,7	2,6	2,6	2,3
19	3,7	3,4	3,4	3,4	3,3	3,2	3,1	3,8	3,4	3,6	3,4	3,5	3,5	3,6	3,7	3,5	3,2	3,1	3	3
20	5,1	4,7	4,7	4,2	4,1	4	3,9	3,1	3	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	2,4	2,7	2,8	3,1	3,2	3,5
21	5,8	5,4	5,4	4,9	4,8	4,7	4,6	4,7	3,7	3,6	3,4	3,3	3,2	3,1	3,1	2,8	2,7	2,6	2,7	2,3
22	4,8	4,5	4,5	3,8	3,8	3,6	3,6	4,1	3,7	3,9	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	3,8	3,7	3,4	3,3	3,2
23	5,7	5,1	5,1	4,8	4,8	4,2	4,1	3,9	4,5	4,1	4,3	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2	4,1	3,7	3,6	3,5
24	4,3	3,8	3,8	3,3	3,3	3,1	3,2	3,5	3,2	3,1	2,9	3	3	3,1	3,1	3,1	3	2,7	2,6	2,2
25	5,8	5,4	5,4	4,9	4,8	4,7	4,6	4,7	3,7	3,6	3,4	3,3	3,3	3,2	3,2	2,8	2,7	2,6	2,7	2,3
26	4	3,6	3,6	3,1	3	2,9	2,8	3,3	2,9	2,9	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,6	2,5	2,2	2,1	1,9
27	4,6	4,2	4,2	3,7	3,6	3,5	3,4	3,9	3,5	3,5	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,1	3	2,7	2,6	2,4
28	4,2	3,7	3,7	3,6	3,5	3,4	3,4	3,9	3,5	3,5	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,1	3	2,7	2,6	2,4
29	4,7	4,3	4,3	3,8	3,7	3,6	3,5	4	3,6	3,6	3,4	3,5	3,5	3,5	5,2	4,9	3,1	2,8	2,7	2,5
30	4,8	4,4	4,4	3,9	3,8	3,7	3,6	4,1	3,7	3,7	3,5	3,5	3,5	3,5	5,1	4,8	2,9	2,8	2,6	2

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 15: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 4)

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
1	2,8	3,1	3,1	3,2	3,2	4	3,5	7,8	8,5	4,5	5,8	3,9	3,9	3	3,5	3,8	27	27	27	28
2	2,6	2,8	3	3	3,1	4	3,4	7,7	8,4	4,5	5,7	4	3,8	2,9	3,4	3,8	27	27	27	28
3	2,7	2,3	2,1	2	2	2,1	2,1	3,3	4,6	5,4	6	7,7	8,9	7,1	7,4	7,4	25	25	25	26
4	5,3	4,9	4,8	4,6	4,6	4,1	4,2	5	5,6	7,3	8,5	6,7	17	6,4	6,8	7,2	24	24	24	25
5	8,1	7,4	7,5	7,5	7,6	7	7,1	7,9	8,5	10	11	9,6	9,9	9,3	9,70	10	27	27	27	28
6	15	16	16	16	16	15	15	16	17	18	20	18	18	17	18	18	35	35	35	36

7	15	16	16	16	16	15	15	16	17	18	20	18	18	17	18	18	35	35	35	36
8	16	15	16	16	16	16	16	15	17	18	20	19	20	18	18	18	36	36	36	37
9	15	16	16	16	16	15	15	16	17	18	20	18	18	18	18	18	35	36	36	37
10	15	16	16	16	16	15	15	16	17	18	20	18	18	18	18	18	35	36	35	36
11	16	16	16	16	16	16	17	17	17	19	20	18	19	18	19	19	36	36	35	37
12	16	16	16	16	16	16	16	17	17	19	20	18	19	18	18	19	36	36	36	37
13	10	10	9,9	9,9	9,4	9,4	8,8	7,6	8,1	10	12	9,3	9,6	9,5	9,9	10	27	28	28	29
14	10	10	9,9	9,9	9,4	9,4	8,8	7,6	8,1	10	12	9,3	9,6	9,5	9,9	10	27	28	28	29
15	10	9,9	9,8	9,8	9,7	9,4	8,7	7,6	8	10	12	9,2	9,5	9,4	9,8	10	27	28	28	28
16	3,4	3,1	3,1	3	3	2,6	1,9	0,8	1,2	3,6	4,8	2,4	2,7	2,6	3,1	3,4	21	21	21	22
17	3,4	3,1	3	3	2,9	2,6	1,9	0,75	1,1	3,5	4,8	2,4	2,7	2,6	3	3,4	21	21	21	22
18	2,3	2,2	2,2	2,2	2,9	1,8	1,2	0,9	1,7	3,3	4,5	2,7	3	2,9	2,8	3,2	20	20	20	21
19	2,8	2,7	2,7	2,6	2,6	2,3	2	1,3	1,9	2,9	4,1	2	2,2	2,6	3	3	21	21	21	22
20	4,3	4,6	4,6	4,8	5,7	5	9,3	10	6,1	7,3	5,6	5,5	4,5	5	5,4	5,4	29	29	29	20
21	1,7	2	2	2,1	2,1	3,3	4,6	5,9	6	7,7	8,9	7,1	7,4	4	4,5	4,8	25	25	25	26
22	3,2	2,9	2,9	2,8	2,8	2	1,8	1,6	2,3	3,9	5,1	3,3	3,6	3	3,4	3,8	21	21	21	22
23	3,5	3,3	3,2	3,1	3,1	2,7	2,1	1,4	2,6	4,2	5,5	3,7	3,2	3,3	3,7	4,1	21	21	21	22
24	2	2,2	2,1	2,1	2	0,85	0,9	1,7	2,4	4,1	3,5	3,8	2,6	3,1	3,5	3,5	21	21	21	22
25	1,7	2	2	2,1	3,3	4,6	5,4	6	7,7	8,9	7,1	7,4	4	4,5	4,8	25	25	25	26	18
26	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	0,6	0,7	2,3	3	4,6	7,5	4,1	4,3	2,9	2,9	3,3	22	22	22	23
27	1,9	2,1	2,1	2	2	1,1	1,4	3	3,6	5,3	8,1	4,7	5	3,2	3,7	4,1	22	22	22	23
28	1,9	2,1	2,1	2	2	1,1	1,4	3	3,6	5,3	6,5	4,7	5	3,2	3,7	4,1	22	22	22	23
29	2	2,2	2,2	2,1	2,1	1,2	1,5	3,1	3,8	5,4	6,6	4,8	5,1	3,3	3,8	4,2	22	23	23	23
30	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	1,3	1,6	3,2	3,8	5,5	6,7	4,9	5,2	3,4	3,9	4,3	22	23	23	24

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 16: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 5)

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	20	20	19	19,3	19,3	20	27	27	27	27	19	19	19	19,3	19	19	19	19	19	19,5
2	20	20	19	19,2	19,2	20	27	27	27	27	19	19	19	19,2	19	19	19	19	19	19,3
3	18	17	17	17	17	18	24	24	25	25	17	17	16	17	17	16	14	17	17	17
4	17	17	16	17	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	12	16	12	16	16	17
5	20	20	19	19	19	20	27	27	27	227	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20
6	28	28	27	28	28	29	35	35	35	35	28	27	27	27	27	27	27	28	27	28

7	28	28	27	28	28	29	35	35	35	35	28	27	27	27	27	27	27	28	27	28
8	228	28	28	28	28	29	35	35	35	35	28	28	28	27	27	27	27	28	27	28
9	28	28	28	28	28	29	35	35	35	35	28	28	28	27	27	27	27	28	27	28
10	28	28	28	28	28	29	35	35	35	35	28	27	28	27	27	27	27	28	27	28
11	29	29	28	28	28	29	36	36	36	36	28	28	28	28	28	29	28	28	28	28
12	29	28	28	28	28	29	36	36	36	36	28	28	28	28	28	29	27	28	28	28
13	20	21	21	21	21	20	27	27	27	27	20	20	20	19	19	20	19	20	19	20
14	20	21	21	21	21	20	27	27	27	27	20	20	20	19	19	20	19	20	19	20
15	20	21	21	21	21	20	27	27	27	27	20	19	20	19	19	20	19	20	19	20
16	14	13	13	13	13	14	20	20	20	21	13	13	13	13	12	16	13	13	13	13
17	13	13	13	13	13	14	20	20	20	20	13	13	13	12	12	16	12	13	12	13
18	13	13	12	13	12	13	20	20	20	20	12	12	12	12	12	15	12	12	12	13
19	13	13	13	13	13	14	20	20	20	21	13	13	13	12	12	17	12	13	12	13
20	22	21	21	21	21	22	28	28	29	29	21	21	21	21	20	18	20	21	21	21
21	18	17	17	17	18	24	25	25	25	17	17	17	17	17	14	16	17	17	17	16
22	14	14	13	13	13	14	21	23	21	21	13	13	13	13	13	16	12	13	13	13
23	14	14	13	13	13	14	21	23	21	13	13	13	13	13	16	13	13	13	13	14
24	14	14	13	13	13	14	21	23	21	21	13	13	13	13	13	15	13	13	13	14
25	17	17	17	17	17	18	24	25	25	25	17	17	17	17	16	14	16	17	17	17
26	15	14	14	14	14	15	21	22	22	22	14	14	14	14	13	15	13	14	13	14
27	15	15	14	14	14	15	22	22	22	22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15
28	15	14	14	14	14	15	22	22	22	22	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15
29	15	15	15	14	14	16	22	22	22	22	15	14	15	14	14	14	14	14	14	15
30	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 17: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 6)

	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
1	18,7	3	3,7	3,2	3,4	3,3	3,3	3,3	3,2	2,9	3	3	2,2	2,2	2,5	1
2	19,3	3	3,6	3,2	3,3	3,2	2,9	2,9	3,2	2,9	3	4,1	2,1	2,1	2,4	1
3	16	3,9	3,5	3,6	3,8	3,7	3,4	3,4	3,7	3,7	3,4	3,1	2,2	3,1	3,5	3,3
4	16	6,3	5,2	5,7	5,8	5,7	5,5	5,9	6,5	6,6	5,6	5,3	5,7	5,3	5,6	5,9
5	19	9,2	8,1	9	8,7	9	8,4	9,2	9,4	9,4	8,5	8,2	7,6	8,2	8,5	8,8
6	27	17	16	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	17	17

7	27	17	16	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	17	17
8	27	17	16	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16	17	17	17
9	27	17	16	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16	17	17	17
10	29	17	16	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	17	17
11	28	18	17	17	18	17	17	18	18	18	17	17	16	17	17	18
12	27	18	17	17	17	17	17	17	18	18	17	17	16	17	17	17
13	19	9,4	8,7	9,2	9	9,2	9,4	9,4	9,6	9,5	9,1	9,8	9,6	9,8	9,5	11
14	19	9,4	8,7	9,2	9	9,2	9,4	9,4	9,6	9,5	9,1	9,8	9,6	9,8	9,5	11
15	19	9,3	8,6	9,1	8,9	9,1	9,3	9,3	9,4	9,5	9,4	9,8	9,7	9,7	9,4	11
16	13	2,5	1,8	2,3	2,1	2,3	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,2	2,7	2,9	2,6	3,9
17	12	2,5	1,8	2,3	2,1	2,3	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,2	2,7	2,9	2,6	3,9
18	12	2,3	1,4	1,9	1,8	1,9	1,7	2,1	2,2	1,8	1,8	1,5	2,1	2,1	1,8	3,9
19	12	0,9	1,4	1,2	1,4	2,7	1,6	1,6	1,8	1,6	1,8	1,8	2,5	2,6	2,1	3,5
20	20	4,6	5,2	4,8	4,9	4,8	4,5	4,6	4,8	4,5	4,6	5,8	4,8	3,8	4	2,6
21	3,9	5,6	3,6	3,8	3,7	3,4	3,4	3,7	3,7	3,4	3,1	2,2	2,2	3,1	2,1	3,4
22	12	2,9	2	2,5	2,4	2,5	2,3	2,7	2,8	2,6	2,4	2,1	2,5	2,7	2,4	3,7
23	13	3,2	2,5	2,8	2,7	3	2,4	2,5	2,7	2,4	11	2,8	3	2,8	2,9	4,1
24	13	3	2,3	2,7	1,9	2,8	2	2	2,4	2,3	2,1	1,8	2,2	2	2,1	3
25	16	3,9	5,6	3,6	5,9	3,7	3,4	3,4	3,7	3,7	3,4	3,1	3,1	2,2	3,5	3,3
26	13	2,3	1,8	2,3	1,6	2,3	1,8	1,8	2,2	2,1	1,8	1,5	1,5	1,7	1,9	2,7
27	14	4,3	2,6	2,6	2,4	2,7	2,6	2,6	3	2,7	2,4	2,4	2	2,8	2,7	3,3
28	14	3,2	2,6	2,6	2,4	2,7	2,6	2,6	3	2,9	2,7	2,4	2	2,3	2,7	3,3
29	14	3,3	2,7	2,7	2,5	2,8	2,8	2,7	3,1	3	2,8	2,5	2,1	2,4	2,8	3,4
30	14	3,9	2,8	2,8	2,6	2,9	2,8	2,7	3,2	3,1	2,9	2,5	2,2	2,5	2,9	3,5

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 18: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 7)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
31	4,1	3,8	1,5	1,1	4,7	13	13	13	13,0	13,0	13,0	13,0	11,0	11,0	11,0	3,8	3,8	3,1	3,2	5,5
32	4,5	4,4	2,0	1,0	4,6	13	13	13	13,0	13,0	13,0	13,0	11,0	11,0	11,0	3,8	3,8	3,0	3,2	6,0
33	3,1	3,0	1,5	2,8	6,4	15	15	15	15,0	15,0	15,0	15,0	11,0	11,0	11,0	3,8	3,8	3,1	2,7	4,6
34	2,5	2,4	1,1	2,9	6,5	15	15	15	15,0	15,0	15,0	15,0	11,0	11,0	11,0	4,4	4,4	3,6	2,6	4,1
35	2,4	2,3	1,0	2,8	6,4	15	15	15	15,0	15,0	15,0	15,0	11,0	11,0	11,0	6,3	6,3	5,5	2,7	3,9
36	2,2	2,1	0,9	2,9	6,5	15	15	14	15,0	15,0	14,9	14,9	11,5	11,4	11,5	5,6	5,6	4,8	2,8	3,9

37	1,9	1,8	0,7	3,1	6,7	15	15	15	15,2	15,2	15,1	15,1	11,7	11,6	11,7	6,0	6,0	5,2	2,7	3,7
38	1,5	1,4	0,6	3,3	6,9	16	16	15	15,4	15,4	15,3	15,3	11,9	11,7	11,9	6,4	6,4	5,6	2,6	3,5
39	1,2	1,1	0,4	3,5	7,1	16	16	15	15,6	15,6	15,5	15,5	12,0	11,9	12,1	6,7	6,8	6,0	2,5	3,3
40	0,8	0,7	0,2	3,7	7,3	16	16	15	15,8	15,8	15,6	15,6	12,2	12,0	12,4	7,1	7,2	6,3	2,5	3,1
41	0,5	0,4	0,1	3,9	7,5	17	17	15	16,0	16,0	15,8	15,8	12,4	12,2	12,6	7,5	7,5	6,7	2,4	2,9
42	0,1	0,1	0,1	4,1	7,7	17	17	16	16,3	16,3	16,0	16,0	12,6	12,4	12,8	7,9	7,9	7,1	2,3	2,7
43	1,3	1,1	2,8	4,6	8,2	16	16	16	16,5	16,5	16,7	16,9	11	12	10,9	4,1	4,1	3,4	2,8	2,5
44	2,4	2,4	4,7	6,5	10,1	18	18	18	18,4	18,4	18,6	18,7	10,9	10,10	10,8	4	4	3,2	2,7	3,5
45	2,5	2,5	4,8	6,6	10,2	18	18	18	18,5	8,5	18,7	18,8	11	12	10,9	4	4	3,2	2,7	3,5
46	2,4	2,4	4,7	6,5	10,1	18	18	18	18,4	18,4	18,6	18,7	10,9	10,9	10,8	4	4	3,2	2,7	3,5
47	2,3	2,3	4,6	6,4	10	18	18	18	18,3	18,3	18,5	18,7	10,9	10,9	10,8	4	4	3,2	2,7	3,5
48	2,2	2	4,3	6,2	9,8	17	17	18	18,1	18	18,3	18,5	11,4	11,5	11,3	4,5	4,5	3,8	3,2	2,1
49	1,4	1,4	3,7	5,5	9,1	17	13	17	17,4	17,4	17,6	17,8	11	12	10,9	4,1	4,1	3,4	2,8	2,6
50	1,3	1,3	3,6	5,5	9,1	17	17	17	17,3	17,2	17,5	17,7	11,1	11,2	11	4,3	4,2	3,5	3	2,5
51	1,1	1,1	3,4	5,3	8,9	16	16	17	17,1	17	17,3	17,5	11	11	10,9	4,2	4,2	3,4	2,8	2,3
52	1	1,1	3,4	5,2	8,8	16	16	17	17,1	17	17,3	17,5	11	11	10,9	4,2	4,2	3,4	2,8	2,2
53	1	1	3,3	5,2	8,8	16	16	17	17,1	17	17,3	17,5	11	11	10,9	4,2	4,2	3,4	2,8	2,2
54	0,95	1	3,3	5,1	8,7	16	16	17	17	16,9	17,2	17,4	11,1	11,1	11	4,2	4,2	3,4	2,9	2,1
55	0,9	0,95	3,2	5,1	8,7	16	18	17	17	16,9	17,2	17,4	11,1	11,1	11	4,2	4,2	3,5	2,9	2,1
56	1,3	1,1	2,8	4,6	8,2	16	14	16	16,5	16,5	16,7	16,9	11	12	10,9	4,1	4,1	3,4	2,8	2,5
57	1,3	1,2	2,7	4,5	8,1	16	13	16	16,4	16,4	16,6	16,9	10,8	10,8	10,7	4	3,9	3,2	2,7	2,6
58	1,5	1,4	2,6	4,5	8,1	16	16	16	16,4	16,3	16,5	16,8	10,6	10,6	10,5	3,7	3,7	2,9	2,4	3
59	1,6	1,5	2,7	4,6	8,2	16	16	16	16,5	16,4	16,6	16,8	10,5	10,5	10,4	3,6	3,6	2,8	2,3	3
60	2	1,9	2,3	4,2	7,8	15	15	16	16,1	16	16,3	16,5	10,4	10,4	10,3	3,5	3,5	2,8	2,2	3,4

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 19: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 8)

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
31	2,4	3,1	4,0	2,2	1,8	1,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0	0,1	1,7	2,6	2,5	3,6	3,8	4,4	5,5	5,9
32	2,4	3,1	4,0	2,2	1,9	1,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,1	0	1,8	3,1	3	4,1	4,3	4,9	5,6	6
33	2,4	3,1	4,0	2,2	1,7	1,8	1,1	1,1	1,2	1,3	1,7	1,8	0	0,6	0,7	1,9	2,1	2,7	4,5	4,9
34	3,0	3,6	4,5	2,1	1,8	1,9	1,6	1,7	1,7	1,8	2,6	2,6	0,6	0	0,1	1,3	1,5	2,9	4,7	5,2
35	4,9	5,5	6,4	2,2	1,9	2,0	1,7	1,8	1,8	1,9	2,5	2,5	0,7	0,1	0	1,2	1,4	2	5	5,5
36	4,2	4,8	5,7	2,5	2,1	2,2	2,0	1,7	1,7	1,8	2,6	2,6	0,6	0,7	1,9	0	4,2	4,9	5	5,4

37	4,6	5,2	6,1	2,6	2,2	2,3	2,2	3,6	3,6	3,7	4,2	6	3,4	3,8	3,6	2,4	0	4,9	5,6	6
38	4,9	5,6	6,5	2,7	2,4	2,5	2,5	3,6	3,6	3,7	4,2	6	3,4	3,8	3,6	2,4	3,6	0	4,2	3,7
39	5,3	5,9	6,8	2,9	2,5	2,6	2,7	3,2	3,3	3,3	4,3	4,2	1	2,1	1,8	0,74	3,3	3,6	0	3,9
40	5,6	6,3	7,2	3,0	2,6	2,7	3,0	3,6	3,6	3,7	4,2	6	3,4	3,8	3,6	2,4	3,8	3,6	2,4	0
41	6,0	6,7	7,6	3,1	2,7	2,8	3,3	3,6	3,6	3,7	4,2	6	3,4	3,8	3,6	2,4	2	5	5,5	4,9
42	6,4	7,0	8,0	3,3	2,8	3,0	3,5	3,6	3,6	3,7	4,2	6	3,4	3,8	3,6	2,4	2,2	1,7	1,3	1,7
43	6,7	7,3	4,3	2,9	2,6	2,7	3,1	3,2	3,3	3,3	4,3	4,2	2	2,2	1,9	0,75	0,55	0,75	3,1	3,5
44	3,2	3,8	4,1	3	2,9	2,8	3,5	3,6	3,6	3,7	4,2	6	3,4	3,8	3,6	2,4	2,2	1,7	1,3	1,7
45	3,2	3,8	4,1	3	2,9	2,8	3,5	3,6	3,6	3,7	4,2	6	3,4	3,8	3,6	2,4	2,2	1,7	1,3	1,7
46	3,2	3,8	4,1	3	2,9	2,8	3,5	3,6	3,6	3,7	4,2	6	3,4	3,8	3,6	2,4	2,2	1,7	1,3	1,7
47	3,2	3,8	4,1	3	2,9	2,8	3,5	3,6	3,6	3,7	4,2	6	3,4	3,8	3,6	2,4	2,2	1,7	1,5	2
48	3,9	4,3	4,7	3,6	3,5	3,4	4,1	4,1	4,2	4,3	5,9	5,8	3,2	3,5	3,4	2,2	2	1,5	1,8	2,2
49	7,6	4	4,3	3,2	3,1	3	3,5	3,6	3,6	5,7	5,2	5,1	2,6	2,9	2,7	1,5	1,3	0,8	2	2,4
50	3,6	4,1	4,4	3,3	3,4	3,1	3,4	3,5	3,6	5,6	5,1	5	2,5	2,8	2,7	1,4	1,2	0,75	2	2,5
51	3,4	3,9	4,2	3,1	3,2	2,9	3,3	3,3	3,4	5,4	4,9	4,8	2,3	2,6	2,5	1,2	1	0,5	2,6	3
52	7,3	8	4,6	3,5	3,2	3,3	3,3	3,4	5,4	5,4	4,9	4,9	3,2	2,6	2,5	1,3	1,1	0,45	2,6	3,1
53	7,2	7,9	4,5	3,4	3,1	3,2	3,5	5,5	5,4	5,2	4,8	4,8	3,1	2,5	2,4	1,2	1	0,5	2,8	3,3
54	7,1	7,8	4,4	3,3	3	3,1	5,4	5,4	5,3	5,2	4,7	4,7	3	2,4	2,3	1,1	0,9	0,4	2,7	3,2
55	7,1	7,8	4,4	3,3	3	3,1	5,4	5,4	5,3	5,2	4,7	4,7	3	2,4	2,3	1,1	0,85	0,35	2,7	3,2
56	6,7	7,3	4,3	2,9	2,6	2,7	3,1	3,2	3,3	3,3	4,3	4,2	2	2,2	1,9	0,75	0,55	0,75	3,1	3,5
57	3	3,7	4,1	2,7	2,5	2,5	3	3	3,1	3,2	4,2	4,1	1,8	2	1,8	0,65	0,5	0,85	3,2	3,6
58	2,8	3,4	3,8	2,4	2,2	22,2	2,7	2,7	2,8	2,9	4,1	4	1,7	1,9	1,8	0,6	0,65	1,2	3,1	3,6
59	2,7	3,3	3,7	2,4	2,1	2,1	2,6	2,6	2,7	2,8	3,3	4,1	1,8	2	1,9	0,65	0,7	1,3	3	3,5
60	2,5	3,2	3,7	2,2	2	1,9	2,4	2,5	2,6	2,6	3,1	3,8	1,4	1,7	1,6	1	1,1	1,6	3,2	3,6

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 20: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 9)

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
31	5,3	4,9	4,9	4,4	4,3	4,2	4,1	6,2	5,2	5,1	4,9	4,8	4,8	4,7	4,6	4,3	4,2	4,1	4,2	3,1
32	5,4	5	5	4,5	4,4	4,3	4,2	6,7	5,7	5,6	5,4	5,4	5,3	5,3	5,2	4,8	4,7	4,7	4,8	3,2
33	4,3	3,9	3,9	3,4	3,3	3,2	3,1	3,3	2,6	2,5	2,3	2,4	2,4	3	2,9	2	1,8	1,7	1,7	1,4
34	4,6	4,2	4,2	3,7	3,6	3,5	3,4	4,8	2,9	2,8	2,6	2,5	2,5	2,4	2,3	2,1	2	1,9	2	1,7
35	4,9	4,5	4,4	4	3,9	3,8	3,7	3,4	2,7	2,7	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2	1,9	1,8	1,8	1,9	1,6
36	4,8	4,4	4,4	3,9	3,8	3,7	3,6	4,1	3,7	3,7	3,5	3,5	3,5	3,5	5,1	4,8	2,9	2,8	2,6	2

37	4,6	4,2	4,2	3,72	3,6	3,5	4,2	6,7	5,7	5,6	5,4	5,4	5,3	5,3	5,2	4,8	4,7	4,7	4,8	3,2
38	4,6	4,2	4,1	3,6	3,6	3,5	3,1	3,3	2,6	2,5	2,3	2,4	2,4	3	2,9	2	1,8	1,7	1,7	1,4
39	4,5	4,1	4	3,6	3,5	3,4	3,7	3,4	2,7	3,4	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2	1,9	1,8	1,8	1,9	1,6
40	4,4	4	4	3,5	3,4	3,3	0,2	1,0	0,8	3,1	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9
41	0	4,4	4,4	3,9	3,8	3,7	3,6	4,1	3,7	2,9	3,5	3,5	3,5	3,5	5,1	4,8	2,9	2,8	2,6	2
42	1,1	0	3,7	3,4	2,7	3,4	0,2	1,0	0,8	2,7	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9
43	2,9	2,5	0	4	3,9	3,8	3,7	3,4	2,7	2,7	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2	1,9	1,8	1,8	1,9	1,6
44	1,1	0,7	0,7	0	0,5	0,26	0,2	1,1	0,9	1	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9
45	1,1	0,7	0,7	0,2	0	3,7	3,6	4,1	3,7	3,7	3,5	3,5	3,5	3,5	5,1	4,8	2,9	2,8	2,6	2
46	1,1	0,7	0,7	0,2	0,11	0	0,2	1,1	0,9	1	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9
47	1,4	0,9	0,95	0,4	0,5	0,26	0	0,8	0,65	0,7	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	1,8	1,7	1,6	1,8
48	1,6	1,2	1,2	0,8	1,2	1,1	0,9	0	0,65	0,7	0,95	1	1	1,1	1,1	1,5	1,5	1,7	1,6	1,8
49	1,8	1,4	1,4	1,1	1	0,95	0,6	0,6	0	0,1	0,29	0,35	0,3	0,5	0,45	0,8	0,8	0,9	1	1,3
50	1,9	1,5	1,5	1,2	1,1	1	0,7	0,7	0,06	0	0,23	0,27	0,3	0,5	0,4	0,7	0,8	0,8	0,9	1,2
51	2,4	2	2	1,5	1,3	1,2	1,2	0,9	0,29	0,2	0	0,04	0,7	0,4	0,16	0,5	0,5	0,7	0,8	1,1
52	2,5	1,9	1,9	1,5	1,3	1,2	1,2	1	0,35	0,2	0,04	0	2	0,9	0,12	0,5	0,5	0,7	0,8	1,1
53	2,7	2,1	2,1	1,6	1,4	1,3	1,3	1	0,35	0,3	0,07	0,02	0	0,6	0,9	0,4	0,5	0,8	0,9	1,2
54	2,6	2,2	2,2	1,7	1,5	1,4	1,4	1,1	0,45	0,3	0,14	0,09	6	0	0,02	0,4	0,5	0,8	0,9	1,2
55	2,6	2,2	2,2	1,7	1,5	1,4	1,4	1,1	0,45	0,4	0,16	0,12	9	2	0	0,4	0,5	0,8	0,9	1,2
56	2,9	2,5	2,5	2	1,9	1,8	1,7	1,5	0,8	0,7	0,5	0,5	5	4,5	0,45	0	0,1	0,4	0,5	0,9
57	3	2,6	2,6	2,1	2	1,9	1,8	1,5	0,85	0,8	0,55	0,55	0,5	0,5	0,5	0,1	0	0,2	0,3	0,75
58	2,9	2,5	2,5	2	2	1,8	1,8	1,7	0,9	0,8	0,65	0,7	0,7	0,8	0,8	0,4	0,3	0	0,08	0,45
59	2,9	2,5	2,5	2	1,9	1,8	1,5	1,6	1	0,9	0,75	0,8	0,8	0,9	0,9	0,5	0,4	0,8	0	0,35
60	3	2,6	2,6	2,1	2	1,9	1,8	1,8	1,3	1,3	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	0,9	0,7	0,4	0,35	0

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 21: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 10)

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
31	3,2	3,5	3,5	3,6	2,7	1,8	2,1	3,8	4,5	6,2	7,4	5,6	5,9	5,2	4,4	4,8	23	23	23	24
32	3,7	4	4	4,1	2,8	1,9	2,2	3,8	4,5	6,1	7,4	5,6	5,9	5,2	5,6	5,6	23	23	23	24
33	0,8	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	2,1	3,8	4,5	6,2	7,4	5,6	5,9	3,1	3,6	4	23	23	23	24
34	1	1,3	1,3	1,4	1,5	1,3	1,9	4,4	5,1	4,7	5,9	3,7	4	3,3	3,8	4,2	24	24	24	25
35	0,9	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	2	4,5	5,2	4,6	5,8	3,6	3,9	3,2	3,7	4,1	24	24	24	25
36	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	1,3	1,6	3,2	3,8	5,5	6,7	4,9	5,2	3,4	3,9	4,3	22	23	23	24

37	3,7	4	4	4,1	2,8	1,9	2,2	3,8	4,5	6,1	7,4	5,6	5,9	5,2	5,6	5,6	23	23	23	24
38	0,8	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	2,1	3,8	4,5	6,2	7,4	5,6	5,9	3,1	3,6	4	23	23	23	24
39	0,9	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	2	4,5	5,2	4,6	5,8	3,6	3,9	3,2	3,7	4,1	24	26	24	25
40	2,7	2,2	2,4	2,2	2,3	2,5	2,3	3,3	3,8	3,1	4,2	2,7	2,5	1,3	1,8	2,1	21,7	25	21,8	22,7
41	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	1,3	1,6	3,2	3,8	5,5	6,7	4,9	5,2	3,4	3,9	4,3	22	25	23	24
42	2,7	2,2	2,4	2,2	2,3	2,5	2,3	3,3	3,8	3,1	4,2	2,7	2,5	1,3	1,8	2,1	21,7	24	21,8	22,7
43	0,9	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	2	4,5	5,2	4,6	5,8	3,6	3,9	3,2	3,7	4,1	24	24	24	25
44	2,7	2,2	2,4	2,2	2,3	2,5	2,3	3,3	3,8	3,1	4,3	2,7	2,5	1,3	1,8	2,2	21,8	22	21,9	22,8
45	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	1,3	1,6	3,2	3,8	5,5	6,7	4,9	5,2	3,4	3,9	4,3	22	23	23	24
46	2,7	2,2	2,4	2,2	2,3	2,5	2,3	3,3	3,8	3,1	4,3	2,7	2,5	1,3	1,8	2,2	21,8	22	21,9	22,8
47	2,7	2,2	2,3	2,1	2,2	2,4	2,3	3,2	3,7	3	4,2	2,6	2,4	1,2	1,8	2,1	21,8	22	21,9	22,8
48	2,4	2,1	2,2	2,1	2,1	3	2,8	3,90	4,4	3,9	5,1	3,4	3,2	2	2,6	3	22,4	22,6	22,6	23,5
49	1,8	1,6	1,7	1,6	1,6	2,4	2,4	3,5	4	3,5	4,7	3	2,8	1,5	2,1	2,4	22	22,2	22,2	23,1
50	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	2,7	2,5	3,6	4,1	3,6	4,8	3,1	3	1,5	2,5	2,9	22,1	22,3	22,3	23,2
51	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	2,2	2,4	3,5	3,9	3,5	4,7	3	2,8	1,9	2,4	2,8	22,1	22,3	22,3	23,2
52	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	2,2	2,4	3,5	3,9	3,5	4,7	3	2,8	1,9	2,4	2,8	22,1	22,3	22,3	23,2
53	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	2,3	2,5	3,6	4,1	3,6	4,8	3,1	2,9	2	2,5	2,9	22,1	22,3	22,3	23,2
54	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	2,3	2,5	3,6	4,1	3,6	4,8	3,1	2,9	2	2,5	2,9	22,1	22,3	22,3	23,2
55	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	2,3	2,5	3,6	4,1	3,6	4,8	3,1	2,9	2	2,5	2,9	22,1	22,3	22,3	23,2
56	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2	2,4	3,6	4,2	3,9	5,2	3,5	3,3	2,4	2,8	3,2	22,2	22,4	22,4	23,3
57	1,1	1	1,1	1	1,1	1,9	2,2	3,5	4	4	5,2	2,9	3,4	2,4	2,9	3,3	22,1	22,3	22,2	23,1
58	0,9	0,8	0,9	0,75	0,75	1,6	2	3,2	3,7	3,6	4,8	2,6	2,9	2,3	2,8	3,2	21,8	22	21,9	22,8
59	1	0,75	0,8	0,65	0,7	1,5	1,9	3,1	3,6	3,5	4,7	2,5	2,8	2,2	2,7	3,1	21,7	21,9	21,9	22,8
60	0,65	0,35	0,35	0,4	0,45	1,3	1,8	3	3,6	3,4	4,6	2,4	2,7	2,2	2,7	3	21,6	21,8	21,8	22,7

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 22: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 11)

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
31	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	13	15	15	15	16
32	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
33	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
34	17	16	16	16	16	17	23	24	24	24	16	16	16	16	16	15	16	16	16	16
35	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	11	16	16	16

36	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
37	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
38	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
39	17	16	16	17,5	17	19	24	28	24	24	18	16	18	16	16	16	1	18	16	16
40	14	14,4	13	17	17	18	21	17	21,7	21	17	13,7	17	13,7	13,6	13,8	13	17	13	14
41	15	15	15	16,5	16	18	22	26	22	22	17	15	17	14	14	13	14	17	14	15
42	14	14,4	13	16	16	17	21	17	21,7	21	16	13,7	16	13,7	13,6	13,8	13	16	13	14
43	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	1	16	16	16
44	14	14,4	13	14	14	15	21	23	21,7	21	14	13,8	14	13,7	13,6	13,8	13	14	13	14
45	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
46	14	14,4	13	14	14	15	21	21	21,7	21	14	13,8	14	13,7	13,6	13,8	13	14	13	14
47	14	14,4	13	14	14	15	21	21	21,7	21	14	13,8	14	13,7	13,6	13,8	13	14	13	14
48	15	15,1	14	14,6	14	15,6	22	22	22,4	22	14	14,5	14	14,4	14,3	14,4	14	14	14	14
49	15	14,9	14	14,2	14	15,2	21	21	22	22	14	14,1	14	14	13,9	14	13	14	13	14
50	15	14,8	14	14,3	14	15,3	21	21	22,1	22	14	14,2	14	14,1	14	14,1	13	14	14	14
51	15	14,8	14	14,3	14	15,3	21	21	22,1	22	14	14,2	14	14,1	14	14,1	13	14	14	14
52	15	14,8	14	14,3	14	15,3	21	21	22,1	22	14	14,2	14	14,1	14	14,1	13	14	14	14
53	15	14,8	14	14,3	14	15,3	21	22	22,1	22	14	14,2	14	14,1	14	14,1	13	14	14	14
54	15	14,8	14	14,3	14	15,3	21	21	22,1	22	14	14,2	14	14,1	14	14,1	13	14	14	6
55	15	14,8	14	14,3	14	15,3	21	21	22,1	22	14	14,2	14	14,1	14	14,1	13	14	14	16
56	15	14,9	14	14,4	14	15,4	22	23	22,2	22	14	14,3	14	14,2	14,1	14,3	13	14	14	17
57	15	14,7	14	14,3	14	15,3	21	21	22	22	14	14,1	14	14	13,9	14,1	13	14	13	14
58	14	14,4	13	14	14	15	21	21	21,7	21	14	13,9	14	13,8	13,6	13,8	13	14	13	14
59	14	14,4	13	13,9	13	14,9	21	21	21,7	21	13	13,8	13	13,7	13,5	13,7	13	13	13	14
60	14	14,3	13	13,9	13	14,8	21	21	21,6	21	13	13,7	13	13,6	13,5	13,7	13	13	13	14

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 23: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 12)

	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
31	15	5,1	4,1	3,3	3,1	3,4	3,3	3,2	3,7	3,6	3,4	3	2,7	3	3,4	4,8
32	15	5,1	4,1	4,5	3,2	4,6	3,4	3,3	3,8	3,7	3,5	3,1	2,8	3,1	3,5	5,4
33	15	3	3,3	2,7	3	2,8	2,5	2,5	2,9	2,8	2,5	2,2	1,3	2,1	2,6	2,4
34	15	3,2	2,9	3	3,1	3	2,7	2,7	3,1	3	2,8	2,5	1,5	2,4	2,8	2,5
35	15	3,1	3,2	2,9	3	2,9	2,6	2,6	3	2,9	2,7	2,3	1,4	2,3	2,7	2,4

36	14	3,9	2,8	2,8	2,6	2,9	2,8	2,7	3,2	3,1	2,9	2,5	2,2	2,5	2,9	3,5
37	15	5,1	4,1	4,5	3,2	4,6	3,4	3,3	3,8	3,7	3,5	3,1	2,8	3,1	3,5	5,4
38	15	3	3,3	2,7	3	2,8	2,5	2,5	2,9	2,8	2,5	2,2	1,3	2,1	2,6	2,4
39	15	3,1	3,2	3,5	3	3,44	2,6	2,6	3,5	2,9	2,7	2,3	1,4	2,3	2,7	1,7
40	13.3	1.7	2.3	3,3	2.0	3,26	1.7	2.1	3,4	1.7	1.9	1.9	2.0	1.2	1.3	1,9
41	14	3,9	2,8	3,1	2,6	3,08	2,8	2,7	3,2	3,1	2,9	2,5	2,2	2,5	2,9	2,2
42	13.3	1.7	2.3	2,9	2.0	2,9	1.7	2.1	3	1.7	1.9	1.9	2.0	1.2	1.3	2,4
43	15	3,1	3,2	2,9	3	2,9	2,6	2,6	3	2,9	2,7	2,3	1,4	2,3	2,7	2,4
44	13.4	1.8	2.4	2	2.1	2	1.8	2.2	2	1.7	1.9	1.9	2.1	1.2	1.3	3
45	14	3,9	2,8	2,8	2,6	2,9	2,8	2,7	3,2	3,1	2,9	2,5	2,2	2,5	2,9	3,5
46	13.4	1.8	2.4	2	2.1	2	1.8	2.2	2	1.7	1.9	1.9	2.1	1.2	1.3	3
47	13.4	1.7	2.3	1,9	2	1,9	1.7	2.1	1,9	1.6	1.8	1.8	2	1.1	1.2	3
48	14	2,4	3	2,6	2,7	2,6	2,3	2,3	2,6	2,3	2,4	2,3	2	1,6	1,8	2,7
49	13.6	2	2,6	2,2	2,3	2,2	1,9	2	2,2	1,9	2	2	1,5	1,3	1,4	2,1
50	13.7	2,1	2,7	2,3	2,4	2,3	2	2,1	2,3	2	2,1	2,1	1,4	1,2	1,5	2
51	13.7	2,1	2,7	2,3	2,4	2,2	1,9	1,9	2,2	1,9	1,9	1,9	1,3	1,1	1,4	1,8
52	13.7	2,1	2,7	2,3	2,4	2,2	1,9	1,9	2,2	1,9	2	2	1,3	1,1	1,4	1,7
53	13.7	2,1	2,7	2,3	2,4	2,3	2	2	2,3	2	2,1	2,1	1,4	1,2	1,5	1,7
54	13.7	2,1	2,7	2,3	2,4	2,3	2	2	2,3	2	2,1	2,1	1,4	1,2	1,5	1,6
55	13.7	2,1	2,7	2,3	2,4	2,3	2	2	2,3	2	2,1	2,1	1,4	1,2	1,5	1,6
56	13.8	2,4	2,7	2,3	2,4	2,3	2	2,1	2,4	2,3	2,1	1,9	1,2	1,6	1,8	1,3
57	13.7	2,4	2,5	2,1	2,3	2,2	1,9	1,9	2,2	2,4	1,9	1,8	1	1,6	1,9	1,4
58	13.4	2,1	2,2	1,8	2	1,9	1,6	1,6	2	1,9	1,6	1,5	0,7	1,5	1,8	1,6
59	13.3	2	2,1	1,8	1,9	1,8	1,5	1,5	1,9	1,8	1,6	1,4	0,65	1,4	1,7	1,7
60	13.2	1,9	2,1	1,7	1,8	1,7	1,4	1,5	1,8	1,7	1,5	1,3	0,5	1,3	1,6	2

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 24: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 13)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
61	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	13	15	15	15	16
62	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
63	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
64	17	16	16	16	16	17	23	24	24	24	16	16	16	16	16	15	16	16	16	16
65	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	116	16	16	16

66	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
67	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
68	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
69	17	16	16	17,5	17	19	24	28	24	24	18	16	18	16	16	16	1	18	16	16
70	14	14.4	13	17	17	18	21	17	21.7	21	17	13.7	17	13.7	13.6	13.8	13	17	13	14
71	15	15	15	16,5	16	18	22	26	22	22	17	15	17	14	14	13	14	17	14	15
72	14	14.4	13	16	16	17	21	17	21.7	21	16	13.7	16	13.7	13.6	13.8	13	16	13	14
73	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	1	16	16	16
74	14	14.4	13	14	14	15	21	23	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
75	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
76	14	14.4	13	14	14	15	21	21	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
77	14	14.4	13	14	14	15	21	21	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
78	15	15.1	14	14.6	14	15.6	22	22	22.4	22	14	14.5	14	14.4	14.3	14.4	14	14	14	14
79	15	14.9	14	14.2	14	15.2	21	21	22	22	14	14.1	14	14	13.9	14	13	14	13	14
80	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
81	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
82	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
83	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	22	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
84	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	6
85	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	16
86	15	14.9	14	14.4	14	15.4	22	23	22.2	22	14	14.3	14	14.2	14.1	14.3	13	14	14	17
87	15	14.7	14	14.3	14	15.3	21	21	22	22	14	14.1	14	14	13.9	14.1	13	14	13	14
88	14	14.4	13	14	14	15	21	21	21.7	21	14	13.9	14	13.8	13.6	13.8	13	14	13	14
89	14	14.4	13	13.9	13	14.9	21	21	21.7	21	13	13.8	13	13.7	13.5	13.7	13	13	13	14
90	14	14.3	13	13.9	13	14.8	21	21	21.6	21	13	13.7	13	13.6	13.5	13.7	13	13	13	14

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 25: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 14)

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
61	2,5	3,2	3,8	2,2	1,9	2	1,9	1,9	2	2	3,2	3,1	0,8	1	0,9	1,5	1,7	2,4	3,7	4,2
62	2.2	2.8	3.4	1.9	1.6	1.6	2.1	2.1	2.2	2.3	2.8	3.4	1.1	1.3	1.2	1.5	1.5	2.1	3.4	3.8
63	2.2	2.8	3.4	1.9	1.6	1.6	2.1	2.1	2.2	2.3	2.8	3.4	1.1	1.3	1.2	1.5	1.5	2.1	3.4	3.8
64	2.1	2.8	3.4	1.8	1.5	1.5	2	2	2.1	2.2	2.7	3.5	1.2	1.5	1.3	1.4	1.4	2	3.3	3.7
65	2.1	2.7	3.3	1.8	1.5	1.5	2	2	2.1	2.2	2.7	3.5	1.2	1.5	1.3	1.4	1.4	2	3.3	3.7

66	1.2	1.8	2.7	0.85	0.5	0.65	1.1	1.1	1.2	1.3	1.8	1.9	1	1.3	1.4	2.2	2.2	2.7	3.7	4.1
67	1.2	1.8	2.1	0.9	0.55	0.65	1.4	1.5	1.5	1.6	2.1	2.2	2.1	2.2	1.8	2.6	2.7	3	3.6	3.8
68	2.1	1.7	1.3	1.8	2.2	2.3	3	3	3.1	3.2	3.8	3.8	3.9	4.4	6.3	7.4	7.6	8.2	3.9	3.8
69	2.8	2.4	2.5	2.4	2.9	3	3.6	3.7	3.8	3.8	4.5	4.4	4.5	5.1	7	8.1	8.3	8.9	4.4	4.4
70	4.4	4	4.1	4.1	4.5	4.6	5.3	5.3	5.4	5.5	6.1	6	4.4	4.6	4.5	4.4	4.3	4.3	2.9	2.9
71	5.5	5.1	5.3	5.2	5.6	5.7	6.4	6.4	6.5	6.6	7.2	7.2	7.3	7.8	5.7	5.5	5.5	5.5	4.1	4.1
72	3.2	2.8	3	2.9	2.6	2.7	4.1	4.2	4.3	4.3	4.9	4.9	3.4	3.7	3.5	3.3	3.3	3.3	2.7	2.7
73	3	2.6	2.7	2.7	2.3	2.4	3.9	3.9	4	4.1	4.7	4.6	3	3.3	3.1	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8
74	3.1	3.2	3.4	2.9	2.6	2.7	3.4	3.4	3.5	3.5	4.0	4.2	3.2	3.4	3.2	2.7	2.5	2.3	1.9	2.2
75	3.7	3.5	3.7	3.2	3.2	3.3	3.9	3.9	4.0	4.1	4.6	4.7	3.6	3.9	3.9	3.2	3.9	2.8	1.3	1.6
76	4,3	3,9	4	4	3,5	3,7	4,3	4,4	4,4	4,5	5	5,1	4	4,2	4,1	4	3,8	3,3	1,7	1,7
77	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24	26	27	27	23	22	22
78	22	21	21	21	22	22	22	23	23	23	23	23	23	24	26	27	27	23	22	22
79	22	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	23	23	24	26	27	27	23	22	22
80	22	22	22	22	23	23	22	22	22	23	24	24	24	25	27	28	28	24	23	23
81	14	14	14	14	15	15	15	15	15	15	16	17	16	17	19	20	20	20	15	15
82	13	14	14	14	14	14	15	15	15	15	16	16	16	16	18	19	20	20	15	15
83	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	16	16	16	16	18	19	20	20	15	15
84	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	16	16	16	16	18	19	20	20	15	15
85	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	16	16	16	16	18	19	20	20	15	15
86	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	17	16	17	17	19	21	21	21	16	16
87	22	21	22	21	22	22	23	23	23	23	23	23	23	24	26	27	27	23	22	22
88	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	26	27	27	23	22	23
89	21	21	21	21	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	26	27	27	23	22	23
90	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	26	27	27	23	22	23

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 26: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 15)

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	13	15	15	15	16
62	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
63	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
64	17	16	16	16	16	17	23	24	24	24	16	16	16	16	16	15	16	16	16	16
65	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	116	16	16	16

66	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
67	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
68	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
69	17	16	16	17,5	17	19	24	28	24	24	18	16	18	16	16	16	1	18	16	16
70	14	14,4	13	17	17	18	21	17	21,7	21	17	13,7	17	13,7	13,6	13,8	13	17	13	14
71	15	15	15	16,5	16	18	22	26	22	22	17	15	17	14	14	13	14	17	14	15
72	14	14,4	13	16	16	17	21	17	21,7	21	16	13,7	16	13,7	13,6	13,8	13	16	13	14
73	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	1	16	16	16
74	14	14,4	13	14	14	15	21	23	21,7	21	14	13,8	14	13,7	13,6	13,8	13	14	13	14
75	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
76	14	14,4	13	14	14	15	21	21	21,7	21	14	13,8	14	13,7	13,6	13,8	13	14	13	14
77	14	14,4	13	14	14	15	21	21	21,7	21	14	13,8	14	13,7	13,6	13,8	13	14	13	14
78	15	15,1	14	14,6	14	15,6	22	22	22,4	22	14	14,5	14	14,4	14,3	14,4	14	14	14	14
79	15	14,9	14	14,2	14	15,2	21	21	22	22	14	14,1	14	14	13,9	14	13	14	13	14
80	15	14,8	14	14,3	14	15,3	21	21	22,1	22	14	14,2	14	14,1	14	14,1	13	14	14	14
81	15	14,8	14	14,3	14	15,3	21	21	22,1	22	14	14,2	14	14,1	14	14,1	13	14	14	14
82	15	14,8	14	14,3	14	15,3	21	21	22,1	22	14	14,2	14	14,1	14	14,1	13	14	14	14
83	15	14,8	14	14,3	14	15,3	21	22	22,1	22	14	14,2	14	14,1	14	14,1	13	14	14	14
84	15	14,8	14	14,3	14	15,3	21	21	22,1	22	14	14,2	14	14,1	14	14,1	13	14	14	6
85	15	14,8	14	14,3	14	15,3	21	21	22,1	22	14	14,2	14	14,1	14	14,1	13	14	14	16
86	15	14,9	14	14,4	14	15,4	22	23	22,2	22	14	14,3	14	14,2	14,1	14,3	13	14	14	17
87	15	14,7	14	14,3	14	15,3	21	21	22	22	14	14,1	14	14	13,9	14,1	13	14	13	14
88	14	14,4	13	14	14	15	21	21	21,7	21	14	13,9	14	13,8	13,6	13,8	13	14	13	14
89	14	14,4	13	13,9	13	14,9	21	21	21,7	21	13	13,8	13	13,7	13,5	13,7	13	13	13	14
90	14	14,3	13	13,9	13	14,8	21	21	21,6	21	13	13,7	13	13,6	13,5	13,7	13	13	13	14

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 27: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 16)

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	13	15	15	15	16
62	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
63	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
64	17	16	16	16	16	17	23	24	24	24	16	16	16	16	16	15	16	16	16	16
65	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	116	16	16	16

66	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
67	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
68	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
69	17	16	16	17,5	17	19	24	28	24	24	18	16	18	16	16	16	1	18	16	16
70	14	14.4	13	17	17	18	21	17	21.7	21	17	13.7	17	13.7	13.6	13.8	13	17	13	14
71	15	15	15	16,5	16	18	22	26	22	22	17	15	17	14	14	13	14	17	14	15
72	14	14.4	13	16	16	17	21	17	21.7	21	16	13.7	16	13.7	13.6	13.8	13	16	13	14
73	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	1	16	16	16
74	14	14.4	13	14	14	15	21	23	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
75	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
76	14	14.4	13	14	14	15	21	21	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
77	14	14.4	13	14	14	15	21	21	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
78	15	15.1	14	14.6	14	15.6	22	22	22.4	22	14	14.5	14	14.4	14.3	14.4	14	14	14	14
79	15	14.9	14	14.2	14	15.2	21	21	22	22	14	14.1	14	14	13.9	14	13	14	13	14
80	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
81	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
82	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
83	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	22	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
84	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	6
85	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	16
86	15	14.9	14	14.4	14	15.4	22	23	22.2	22	14	14.3	14	14.2	14.1	14.3	13	14	14	17
87	15	14.7	14	14.3	14	15.3	21	21	22	22	14	14.1	14	14	13.9	14.1	13	14	13	14
88	14	14.4	13	14	14	15	21	21	21.7	21	14	13.9	14	13.8	13.6	13.8	13	14	13	14
89	14	14.4	13	13.9	13	14.9	21	21	21.7	21	13	13.8	13	13.7	13.5	13.7	13	13	13	14
90	14	14.3	13	13.9	13	14.8	21	21	21.6	21	13	13.7	13	13.6	13.5	13.7	13	13	13	14

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 28: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 17)

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
61	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	13	15	15	15	16
62	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
63	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
64	17	16	16	16	16	17	23	24	24	24	16	16	16	16	16	15	16	16	16	16
65	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	116	16	16	16

66	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
67	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
68	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
69	17	16	16	17,5	17	19	24	28	24	24	18	16	18	16	16	16	1	18	16	16
70	14	14.4	13	17	17	18	21	17	21.7	21	17	13.7	17	13.7	13.6	13.8	13	17	13	14
71	15	15	15	16,5	16	18	22	26	22	22	17	15	17	14	14	13	14	17	14	15
72	14	14.4	13	16	16	17	21	17	21.7	21	16	13.7	16	13.7	13.6	13.8	13	16	13	14
73	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	1	16	16	16
74	14	14.4	13	14	14	15	21	23	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
75	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
76	14	14.4	13	14	14	15	21	21	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
77	14	14.4	13	14	14	15	21	21	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
78	15	15.1	14	14.6	14	15.6	22	22	22.4	22	14	14.5	14	14.4	14.3	14.4	14	14	14	14
79	15	14.9	14	14.2	14	15.2	21	21	22	22	14	14.1	14	14	13.9	14	13	14	13	14
80	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
81	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
82	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
83	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	22	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
84	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	6
85	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	16
86	15	14.9	14	14.4	14	15.4	22	23	22.2	22	14	14.3	14	14.2	14.1	14.3	13	14	14	17
87	15	14.7	14	14.3	14	15.3	21	21	22	22	14	14.1	14	14	13.9	14.1	13	14	13	14
88	14	14.4	13	14	14	15	21	21	21.7	21	14	13.9	14	13.8	13.6	13.8	13	14	13	14
89	14	14.4	13	13.9	13	14.9	21	21	21.7	21	13	13.8	13	13.7	13.5	13.7	13	13	13	14
90	14	14.3	13	13.9	13	14.8	21	21	21.6	21	13	13.7	13	13.6	13.5	13.7	13	13	13	14

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 29: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 18)

	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
61	13.3	1.10	2.2	1.7	1.8	1.7	1.4	1.5	1.8	1.7	1.5	1.3	0.6	1.3	1.6	3
62	13.6	1.9	2	1.6	1.8	1.7	1.4	1.4	1.7	1.7	1.5	1.2	0.21	1.1	1.5	2.6
63	13.6	1.9	2	1.6	1.8	1.7	1.4	1.4	1.7	1.7	1.4	1.1	0.17	1	1.5	2.6
64	13.5	1.8	1.9	1.5	1.7	1.5	1.3	1.3	1.6	1.6	1.3	1	0.11	1	1.4	2.6
65	13.5	1.8	1.9	1.5	1.7	1.5	1.3	1.3	1.6	1.6	1.3	1	0.58	0.95	1.4	2.7

66	13.5	2.1	1.7	1.8	1.5	1.8	1.6	1.6	1.9	1.8	1.6	1.3	0.95	1.2	1.6	3.6
67	12.8	1.7	1.2	1.2	1	1.3	1.1	1.1	1.5	1.5	1.2	0.9	1.4	1.4	1.2	4.1
68	11.4	1.8	1	1.5	1.3	1.5	2.2	1.7	1.8	1.9	1.8	1.9	2.9	2.9	2.3	7.3
69	10.6	2.3	1.5	2	1.9	2	2.7	2.2	2.2	2.4	2.3	2.4	3.1	3.2	2.8	8
70	11.5	2	2.1	1.9	2	1.9	2.6	2.1	2	2.1	2.2	2.3	3.1	2.8	2.4	5.9
71	13.4	3.3	4.2	3.1	3.3	3.2	3.8	3.3	3.2	3.3	3.4	3.5	4.3	4	3.7	10.7
72	10.9	1.1	1.2	1	1.1	1	1.6	1.2	1	1.2	1.2	1.4	2.1	1.9	1.5	4.9
73	12.2	0.7	0.75	0.55	0.7	0.6	1.2	0.75	0.65	0.75	0.85	1	1.7	1.5	1.1	4.5
74	12	0.5	1.4	0.95	1.1	1	1	1.1	0.7	0.6	1.2	1.3	1.9	1.3	0.75	3.5
75	12.0	0.8	1.7	1.5	1.6	1.5	1.4	1.7	1.0	1.1	1.2	1.9	2.4	1.6	1.2	4.2
76	12	1,2	2	1,8	2	1,9	1,8	2	1,4	1,6	2,1	2,3	2,7	2,2	1,6	4,6
77	10,1	20	20	20	21	20,2	21	20,3	20	20	21	21	21,7	22	21	28
78	10,3	22	20	20	21	20,3	22	20,5	20	21	21	21	21,9	22	21	27
79	10,3	21	20	20	21	20,3	21	20,5	20	21	21	21	21,9	22	21	27
80	11,2	21	21	21	22	21,2	22	21,4	21	21	22	22	22,8	23	22	28
81	3,1	13	13	13	13	13,1	14	13,3	13	13	14	16	14,7	15	14	20
82	2,7	13	13	13	13	12,8	14	13	13	13	14	13	14,4	15	13	19
83	2,9	13	13	13	13	12,9	14	13,1	13	13	14	13	14,5	15	13	19
84	2,8	13	13	13	13	12,9	14	13	13	13	14	13	14,4	15	13	19
85	2,8	13	13	13	13	12,8	14	13	13	13	14	13	14,4	14	13	19
86	3,9	14	14	14	14	13,9	15	14,1	14	14	15	14	15,5	16	14	20
87	10,5	21	20	21	21	20,5	22	20,7	21	21	21	21	22,1	22	21	27
88	10,7	20	20	21	21	20,7	21	21	20	20	20	21	21,8	21	21	27
89	10,7	21	21	21	21	21,1	22	21,3	21	21	22	22	22,3	22	21	27
90	10,7	20	20	21	21	20,7	21	21	20	20	20	21	21,8	21	21	27

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 30: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 19)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
91	19	19,2	17	16	19	27,4	27,5	28	28	27,6	27,8	28,1	12	12	12	12,8	12,7	13	12,8	21
92	19	19	17	16	19	27,3	27,4	28	28	27,5	27,7	27,9	12	12	12	12,6	12,6	13	12,7	21
93	19	18,9	17	16	19	27,2	27,3	28	27	27,4	27,6	27,8	19	19	19	12,5	12,5	13	12,6	21
94	19	18,9	17	16	19	27,2	27,3	28	27	27,5	27,6	27,8	19	19	19	12,5	12,5	13	12,5	21
95	19	18,8	17	15	19	27,1	27,1	27	27	27,3	27,5	27,7	12	12	12	12,4	12,4	12	12,4	20

96	19	19	17	16	19	27,3	27,3	28	28	27,4	28,1	27,9	19	19	12	12,6	12,5	12	12,6	21
97	19	18,6	16	15	19	26,8	26,9	27	27	27	27,3	27,5	19	19	19	12,2	12,1	12	12,2	20
98	19	19,2	17	16	19	27,5	27,5	28	28	27,6	27,9	28,1	20	20	20	12,8	12,7	13	12,8	21
99	19	18,8	17	15	19	27,1	27,4	27	27	27,3	27,5	27,7	19	19	19	12,4	12,4	12	12,5	21
100	20	19,5	18	16	20	27,7	27,8	28	28	27,9	28,1	28,3	20	20	28	13	13	13	13,1	21
101	19	18,3	16	15	19	26,6	26,7	27	27	26,7	27	27,2	29	29	19	11,8	11,8	12	11,9	20
102	2,8	2,8	3,7	5,7	9,3	17,3	17,4	18	18	17,5	17,7	17,9	9,5	9,5	9,4	2,6	2,4	2,4	1,9	4
103	5	4,9	5,8	4,7	8,3	16,4	16,5	17	17	16,6	16,8	16,9	8,6	8,6	8,5	2,2	2,2	1,4	0,9	6,5
104	4,5	4,3	3,4	5,4	9	17,1	17,1	17	17	17,2	17,5	17,7	9,3	9,3	9,2	2,5	2,5	1,7	1,2	4,4
105	4,7	4,6	3,6	5,1	8,7	16,8	16,9	17	17	17	17,2	17,2	9	9	8,9	2,1	2,1	1,8	1,2	4,6
106	4,4	4,3	3,3	5,4	9	17	17,1	17	17	17,2	17	17,7	9,3	9,3	9,2	2,4	2,4	1,7	1,1	4,3
107	4,3	4,2	3,2	4,3	8,4	16,5	16,5	17	17	16,7	16,9	17,1	9,2	9,2	9,1	2,3	2,3	1,5	1	4,3
108	4,3	4,1	3,2	4,8	8,4	16,4	16,5	17	17	16,6	16,8	17	9,1	9,1	9	2,3	2,2	1,5	0,9	4,1
109	2,9	2,9	3,8	5,6	9,2	17,3	17,4	18	18	17,5	17,7	17,9	9,5	9,5	9,4	2,6	2,6	2,1	1,5	4,1
110	4,8	4,6	3,7	5,5	9,1	17,2	17,2	17	17	17,3	17,6	17,8	9,3	9,3	9,2	2,5	2,4	2	1,4	4,5
111	2,8	2,8	3,5	5,7	9,3	17,4	17,4	18	16	17,5	17,8	18	9,5	9,5	9,4	2,7	2,6	1,9	1,4	4
112	4	3,9	3	4,3	7,9	16	16	16	16	16,1	16,4	16,6	9,4	9,4	9,3	2,5	2,5	1,7	1,2	5,6
113	3,3	3,1	2,2	4	7,6	15,7	15,8	16	16	15,9	16,1	16,3	10	10	9,9	3,1	3,1	2,4	1,8	4,8
114	2,1	2,3	3	4,9	8,5	16,5	16,6	17	17	16,7	16,9	17,2	10	10	10	3,2	3,2	2,4	1,9	3,3
115	2,7	2,7	3,6	5,9	18	17,5	17,6	18	18	17,7	18	18,2	9,7	9,7	9,6	2,9	2,8	2,4	1,9	3,9
116	0,8	0,7	1,9	3,8	7,4	15,5	15,5	16	16	15,6	15,9	16,1	14	14	14	7,3	7,3	6,4	6,6	2,4

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 31: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 20)

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
91	14	13	13	13	14	14	15	15	15	15	15	15	15	16	18	19	19	20	14	14
92	13	13	13	13	14	14	14	14	15	15	15	15	15	16	18	19	19	20	14	14
93	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	15	15	15	16	18	19	19	19	14	14
94	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	15	15	15	16	18	19	19	19	14	14
95	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	15	15	15	15	17	19	19	14	14	14
96	13	13	13	13	14	14	14	14	14	15	15	15	15	16	18	19	19	15	14	14
97	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	15	15	14,7	15	18	18	19	19	14	14
98	14	13	13	13	14	14	15	15	15	15	15	15	15	16	16	19	19	20	14	14
99	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	15	15	15	16	16	19	19	19	14	14

100	14	13	14	14	14	14	15	15	15	15	16	16	16	16	16	19	19	19,9	14	14
101	13	12	12	12	13	13	14	14	14	14	14	14	14	15	15	18	18	19	13	13
102	3,4	3,1	3,3	3,1	2,5	2,6	2,9	3	3	3,1	3,6	3,7	2,8	3,1	3	2,3	2,2	2,2	2,4	2,9
103	2,1	2	2,3	2,2	1,5	1,6	2,6	2,6	2,7	2,8	3,3	3,4	2,5	2,7	2,9	3	3	3,1	3	3,5
104	2,3	2,3	2,6	2	1,6	1,7	2,5	2,5	2,6	2,7	3,2	3,3	2,5	2,7	2,6	2,3	2,4	2,6	2,8	3,3
105	2,2	2,4	2,7	2,6	1,8	1,9	2,4	2,4	2,5	2,6	3,1	3,2	2,3	2,5	2,8	2,6	2,6	2,8	2,9	3,3
106	2,3	2,3	2,6	1,9	1,6	1,7	2,4	2,5	2,6	2,6	3,1	3,2	2,4	2,7	2,6	2,3	2,4	2,6	2,8	3,3
107	2,1	2,1	2,4	1,8	1,5	1,6	2,3	2,3	2,4	2,5	3	3,1	2,3	2,5	2,4	2,2	2,2	2,4	3,1	3,5
108	2,1	2,1	2,4	1,8	1,4	1,5	2,3	2,3	2,4	2,5	2,9	3,1	2,3	2,5	2,4	2,3	2,2	2,4	3,1	3,3
109	2,6	2,6	3,2	3,1	2	2,1	2,9	2,9	3	3,1	3,5	3,7	2,9	3,1	3	2,2	2,2	2,4	2,6	3
110	2,5	2,5	2,8	3	1,9	2	2,7	2,8	2,9	2,9	3,4	3,5	2,8	3	2,9	2,6	2,7	2,8	2,7	3,1
111	2,5	2,5	2,8	2,5	1,8	1,9	2,7	2,8	2,9	2,9	3,4	3,5	2,6	2,9	2,8	2,1	2,1	2,3	2,5	2,9
112	1,9	2,3	2,7	1,6	1,3	1,3	2,1	2,1	2,2	2,2	2,8	2,9	2	2,3	2,2	2	2,1	2,3	3,3	3,7
113	2,1	2,8	3,3	1,8	1,5	1,6	2	2,1	2,2	2,2	2,7	3,6	1,3	1,5	1,4	1,3	1,3	1,9	3,2	3,7
114	2,6	3	3,3	2,3	1,9	2	2,6	2,7	1,7	2,8	3,3	3,4	2,1	2,4	2,2	1,6	1,7	1,6	2,5	2,9
115	2,7	3	3,6	2,3	2	2,1	2,8	2,9	3	3	3,5	3,6	2,7	2,8	2,9	2,2	2,2	2,1	2,3	2,8
116	5,8	6,5	7,4	5,7	6,1	6,2	4,1	4,1	4	3,9	3,4	3,4	2,6	2	1,9	1	0,8	1,2	4,3	4,8

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 32: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 21)

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
91	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	13	15	15	15	16
92	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
93	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
94	17	16	16	16	16	17	23	24	24	24	16	16	16	16	16	15	16	16	16	16
95	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	116	16	16	16
96	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
97	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
98	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
99	17	16	16	17,5	17	19	24	28	24	24	18	16	18	16	16	16	1	18	16	16
100	14	14,4	13	17	17	18	21	17	21,7	21	17	13,7	17	13,7	13,6	13,8	13	17	13	14
101	15	15	15	16,5	16	18	22	26	22	22	17	15	17	14	14	13	14	17	14	15
102	14	14,4	13	16	16	17	21	17	21,7	21	16	13,7	16	13,7	13,6	13,8	13	16	13	14
103	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	1	16	16	16

104	14	14.4	13	14	14	15	21	23	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
105	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
106	14	14.4	13	14	14	15	21	21	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
107	14	14.4	13	14	14	15	21	21	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
108	15	15.1	14	14.6	14	15.6	22	22	22.4	22	14	14.5	14	14.4	14.3	14.4	14	14	14	14
109	15	14.9	14	14.2	14	15.2	21	21	22	22	14	14.1	14	14	13.9	14	13	14	13	14
110	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
111	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
112	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
113	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	22	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
114	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	6
115	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	16
116	15	14.9	14	14.4	14	15.4	22	23	22.2	22	14	14.3	14	14.2	14.1	14.3	13	14	14	17

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 33: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 22)

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
91	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	13	15	15	15	16
92	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
93	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
94	17	16	16	16	16	17	23	24	24	24	16	16	16	16	16	15	16	16	16	16
95	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	116	16	16	16
96	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
97	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	14	15	15	15	16
98	16	16	15	15	15	16	23	23	23	23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16
99	17	16	16	17,5	17	19	24	28	24	24	18	16	18	16	16	16	1	18	16	16
100	14	14.4	13	17	17	18	21	17	21.7	21	17	13.7	17	13.7	13.6	13.8	13	17	13	14
101	15	15	15	16,5	16	18	22	26	22	22	17	15	17	14	14	13	14	17	14	15
102	14	14.4	13	16	16	17	21	17	21.7	21	16	13.7	16	13.7	13.6	13.8	13	16	13	14
103	17	16	16	16	16	17	24	24	24	24	16	16	16	16	16	16	1	16	16	16
104	14	14.4	13	14	14	15	21	23	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
105	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	15	15	15	14	14	13	14	15	14	15
106	14	14.4	13	14	14	15	21	21	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14
107	14	14.4	13	14	14	15	21	21	21.7	21	14	13.8	14	13.7	13.6	13.8	13	14	13	14

108	15	15.1	14	14.6	14	15.6	22	22	22.4	22	14	14.5	14	14.4	14.3	14.4	14	14	14	14
109	15	14.9	14	14.2	14	15.2	21	21	22	22	14	14.1	14	14	13.9	14	13	14	13	14
110	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
111	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
112	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
113	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	22	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	14
114	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	6
115	15	14.8	14	14.3	14	15.3	21	21	22.1	22	14	14.2	14	14.1	14	14.1	13	14	14	16
116	15	14.9	14	14.4	14	15.4	22	23	22.2	22	14	14.3	14	14.2	14.1	14.3	13	14	14	17

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 34: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 23)

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
91	0,8	0,8	1,3	1	1	2,1	8,6	8,6	8,8	8,8	0	0,5	0,5	0,35	1	1,1	0,8	1,3	0,4	1,6
92	1,2	0,6	1	0,85	0,85	2	8,5	8,5	8,7	8,7	0,4	0	0,1	0,22	0,9	1	0,6	1,2	0,2	1,5
93	1,1	0,8	1,1	1	1	2,1	8,6	8,6	8,8	8,8	0,3	0,1	0	0,1	0,7	0,9	0,5	1,1	0,1	1,3
94	1,1	0,9	1,6	1,1	1,1	2,2	8,8	8,8	9	9	0,4	0,3	0,5	0	0,6	0,8	0,5	1	1	1,2
95	1,7	1,4	1,4	1,5	1,4	2,5	9,1	9,1	9,2	9,3	1	0,8	0,9	0,6	0	0,2	0,2	0,4	0,6	0,9
96	1,9	1,6	1,7	1,5	1,6	2,7	9,3	9,3	9,5	9,5	0,9	0,9	0,9	0,65	0,5	0	0,4	0,2	0,7	0,75
97	1,5	1,2	1,2	1,3	1,2	2,3	8,9	8,9	9	9,1	0,8	0,6	0,7	0,4	0,2	0,4	0	0,6	0,4	0,85
98	2,1	1,8	1,8	1,9	1,9	2,9	9,5	9,5	9,6	9,6	1,3	1,2	1,3	1	0,7	0,2	0,6	0	0,2	0,65
99	1,1	1,1	1,5	1	1	2,5	9,1	9,1	9,3	9,3	0,4	0,4	0,4	0,1	0,6	0,8	0,4	0,1	0	1,2
100	2,3	2	2,1	2,1	2,1	3,1	9,7	9,7	9,9	9,9	1,6	1,4	1,6	1,2	0,6	0,8	0,9	0,7	1,2	0
101	3,1	2,8	2,8	2,9	2,9	3,9	11	11	11	10,6	2,3	2,2	2,3	2	1,4	1,5	1,6	1,4	2	0,75
102	13	13	13	12,7	12,7	14	20	20	20	20,4	13	13	13	12,4	12	12	12	13	12	12,9
103	13	13	12	12,3	12,2	13	20	20	20	20,1	12	12	12	12,1	12	12	12	12	12	12,6
104	14	13	13	13	13	14	21	21	21	20,7	13	13	13	12,7	13	13	12	13	13	13,2
105	13	13	13	12	12,7	14	20	20	20	20,4	21	13	13	12,4	13	13	12	13	12	12,9
106	14	14	13	13	13	14	21	21	21	20,4	13	13	13	12,7	13	13	12	13	13	13,2
107	14	14	13	13,1	13,1	14	21	21	21	20,8	13	13	13	12,8	13	13	13	13	13	13,3
108	14	14	13	13,3	13,3	14	21	21	21	21	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13,5
109	13	13	13	12,6	12,6	14	20	20	21	20,5	13	12	13	12,3	12	12	12	13	12	12,8
110	13	13	12	12,5	12,5	14	20	20	20	20,2	13	12	12	12,2	12	12	12	13	12	12,70
111	13	13	13	12,7	12,7	14	20	20	20	20,4	13	13	13	12,4	12	13	12	13	12	12,9

112	14	14	14	13,5	13,5	15	21	21	21	21,3	14	13	14	13,8	13	13	13	14	13	13,8
113	15	15	14	14	14	15	22	22	22	21,8	14	14	14	13,8	14	14	13	14	14	14,3
114	14	14	13	13,3	13,3	14	21	21	21	21,1	13	13	13	13,1	13	13	13	13	13	13,6
115	14	13	13	12,8	12,8	14	20	20	21	20,6	13	13	13	12,6	13	13	12	13	13	13,1
116	20	19	19	18,8	18,8	20	26	26	27	26,6	27	19	19	18,6	18	19	18	19	18	19

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 35: Distancia de clientes en Kilómetros (parte 24)

	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
91	2,3	13	12	13	13	12,8	14	13	12	13	13	13	14	13	13	19
92	2,2	12	12	13	13	12,7	13	12,8	12	12	13	13	13,8	14	13	19
93	2,1	12	12	13	12	12,5	13	12,7	12	12	13	13	13,9	14	13	19
94	2	12	12	13	12	12,5	13	12,7	12	12	13	13	13,7	14	13	18,5
95	1,7	12	12	12	12	12,4	13	12,6	12	12	13	13	13,6	14	13	18
96	1,5	12	12	13	13	14,2	13	13,1	12	12	13	13	13,8	14	13	19
97	1,6	12	12	12	12	12,2	13	12,4	12	12	13	13	13,4	13	12	18
98	14,5	13	12	13	13	12,8	14	13	12	13	13	13	14	14	13	19
99	2	12	12	12	12	12,4	14	12,6	12	12	13	13	13,6	14	13	18
100	0,75	13	13	12	13	13	14	13,2	13	13	13	13	14,2	14	13	19
101	0	12	11	12	12	11,9	13	12,1	12	12	12	12	13,1	13	12	18
102	12	0	1	0,6	0,7	0,6	0,6	0,75	0,6	0,3	0,9	1	1,6	0,8	0,4	3,5
103	11,7	0,9	0	0,5	0,4	5	1,1	0,7	0,8	0,9	0,8	0,9	1,7	1,8	1,2	4,5
104	12,4	0,8	0,8	0	0,5	0,03	0,7	0,2	0,6	0,6	0,3	0,4	1,2	1,2	0,8	4
105	12,1	0,8	0,4	0,3	0	0,28	0,9	0,45	0,7	0,8	0,5	0,7	1,4	1,5	1	4,2
106	12,3	0,7	0,8	0,5	0,4	0	0,7	0,17	0,6	0,3	0,3	0,4	1,2	1,2	0,8	3,9
107	12,5	1	0,9	0,7	0,6	0,7	0	0,04	0,9	0,8	0,7	0,2	1	1	0,6	3,8
108	12,7	1	1,1	0,8	0,9	0,75	0,5	0	0,9	0,8	0,6	0,2	1	1	0,6	8
109	12	0,7	0,9	0,5	0,6	0,45	0,4	0,65	0	0,1	0,7	0,9	1,6	0,9	0,6	3,2
110	11,00	0,6	0,8	0,3	0,5	0,35	1	0,5	0,5	0	0,6	0,7	1,5	1,5	1	4,3
111	12,1	0,4	1	0,6	0,8	0,65	0,4	0,4	0,6	0,3	0	0,6	1,4	0,8	0,5	3,5
112	12,9	1,1	1,3	1	1,1	1	0,8	0,75	1,1	1	0,8	0	0,8	0,8	0,8	3,5
113	13,4	1,7	1,8	1,5	1,6	1,5	1,2	1,2	1,6	1,5	1,3	1	0	1	1,3	2,8
114	12,7	1,1	1,7	1,3	1,3	1,3	1	1	1,3	1	1,1	1	0,85	0	0,5	2,8
115	12,2	0,6	1,2	0,8	1	0,8	0,5	0,55	0,8	0,5	0,6	0,8	1,5	0,7	0	3,4
116	18,2	3,6	4,6	3,4	4,4	4,2	4	4	3,8	3,5	3,2	3,7	2,8	2,8	3,1	0

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 36: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0	1	4	8	12	22	22	23	23	23	24	25	24	24	24	14	14	12	13	4	10	12	15	10	11
2	1	0	4	7	15	22	22	23	24	24	25	25	25	25	25	14	14	12	13	5	10	12	15	10	11
3	4	4	0	4	8	17	17	18	18	18	19	12	21	20	20	10	10	8	9	8	6	8	11	6	8
4	11	11	7	0	7	13	16	16	16	16	17	17	21	21	21	11	11	9	10	15	7	9	12	7	9
5	13	13	9	8	0	11	11	12	12	11	12	12	23	23	23	13	13	11	12	16	9	11	13	9	10
6	20	20	17	16	11	0	2	2	2	1	2	3	26	26	26	20	20	18	19	24	16	18	21	16	18
7	20	20	17	16	11	2	0	2	2	1	2	3	26	26	26	16	16	15	15	18	15	15	16	14	15
8	21	21	17	17	12	2	2	0	1	2	2	3	27	27	27	21	21	19	20	24	17	19	22	17	19
9	20	20	16	16	12	1	1	1	0	1	1	2	27	27	27	20	20	18	19	24	16	18	21	16	18
10	20	20	16	16	11	2	1	1	1	0	1	2	26	27	27	20	20	18	19	24	16	18	21	16	18
11	21	21	17	17	12	3	3	3	2	2	0	1	28	28	28	21	21	20	20	25	18	20	22	18	18
12	21	21	17	17	11	4	3	4	3	3	2	0	29	29	29	21	21	19	20	25	17	19	21	17	19
13	24	24	20	18	22	26	27	27	27	26	27	28	0	1	1	11	11	13	16	28	17	16	15	15	17
14	23	23	20	18	22	26	27	27	27	27	28	29	1	0	1	10	11	13	16	27	16	16	14	15	16
15	23	23	20	18	22	26	27	27	27	27	28	29	1	0	1	10	11	13	16	27	16	16	14	15	16
16	13	13	11	8	12	9	20	20	20	20	21	21	11	11	11	0	1	2	5	17	6	6	4	5	6
17	14	13	10	8	12	9	19	20	20	20	22	21	11	11	11	1	0	3	5	17	6	6	4	5	6
18	12	11	7	6	9	8	17	18	18	18	19	19	13	13	13	3	3	0	3	15	4	4	3	3	4
19	15	15	11	9	12	8	17	20	21	21	20	21	22	17	17	16	6	6	0	18	7	7	8	5	7
20	6	6	10	14	17	26	26	27	27	27	28	28	31	30	30	20	20	18	18	0	16	18	21	15	17
21	11	11	4	4	8	16	16	17	17	17	18	18	20	20	20	10	10	8	9	8	0	8	11	6	7
22	11	11	8	7	10	18	18	19	19	19	20	20	15	16	15	5	6	3	4	5	5	0	3	4	4
23	14	14	11	9	12	21	21	22	22	21	22	22	14	16	14	4	4	3	5	18	7	3	0	6	7
24	10	10	7	5	9	17	17	18	18	18	19	19	15	17	15	4	5	3	4	13	1	3	6	0	2
25	12	12	4	4	8	8	16	16	16	16	17	17	20	20	9	10	7	8	8	6	8	10	6	7	0
26	13	12	9	7	10	19	19	19	19	19	20	20	18	18	17	7	5	5	16	3	5	8	8	2	1
27	10	9	6	5	9	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	8	8	5	6	13	3	6	8	8	4
28	9	9	5	5	8	17	17	17	17	17	18	18	18	18	17	7	8	5	6	13	4	6	8	8	4
29	9	8	5	5	9	17	17	18	18	18	18	18	18	18	17	7	8	5	6	12	4	6	8	8	4
30	9	9	5	4	8	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	8	8	6	12	4	6	8	8	4	4

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 37: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 2)

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	12	10	10	10	10	8	8	8	6	5	3	3	2	12	13	12	11	10	9	9	8	8	6	5	4
2	12	10	10	10	10	8	8	8	6	5	4	3	2	13	14	13	11	11	10	10	9	8	7	5	5
3	8	8	8	8	6	5	5	4	4	4	5	5	6	15	16	15	14	14	12	12	12	12	11	9	9
4	9	8	8	8	8	6	6	11	11	10	11	12	12	22	22	22	20	20	18	18	18	18	18	17	17
5	10	10	10	10	9	8	8	13	12	12	13	13	14	22	23	22	21	21	20	20	20	19	19	17	16
6	18	17	17	17	17	16	15	20	20	19	20	21	21	30	30	29	28	28	27	27	27	26	26	24	24
7	15	14	13	13	13	13	13	20	20	19	20	21	21	30	30	29	28	28	27	27	27	26	26	24	24
8	19	19	18	18	18	17	16	21	21	20	21	22	22	32	32	31	30	30	29	29	28	28	27	25	25
9	18	18	17	17	17	16	16	20	20	19	20	21	21	31	32	30	30	30	28	28	28	27	27	24	24
10	18	17	17	17	17	16	15	20	20	19	20	21	21	31	32	31	30	30	28	28	28	27	27	27	24
11	19	19	19	19	18	17	17	21	21	21	22	22	22	32	33	32	31	31	29	29	29	29	26	26	26
12	19	18	18	18	18	17	16	21	21	20	21	22	22	32	33	31	30	30	29	29	29	28	28	25	25
13	17	18	18	18	18	19	18	20	22	23	24	25	25	26	28	26	25	25	25	25	25	24	27	25	25
14	17	17	17	17	18	18	18	20	22	22	24	24	25	26	27	25	24	24	24	24	24	24	27	25	25
15	17	17	17	17	18	18	18	20	22	22	24	24	25	26	27	25	24	24	24	24	24	24	27	25	25
16	6	7	7	7	7	8	8	10	12	12	13	14	14	16	17	15	15	15	15	15	15	14	14	13	15
17	7	7	7	8	8	8	8	10	12	12	14	14	15	16	17	15	14	14	15	14	14	14	14	13	15
18	4	5	5	5	6	6	8	10	11	11	12	13	13	15	17	15	14	14	13	13	13	15	14	12	13
19	7	8	8	8	8	9	9	10	13	13	13	13	14	13	11	12	11	11	12	12	11	11	14	13	13
20	17	15	15	15	15	13	13	12	10	10	9	8	7	17	18	16	15	15	14	14	13	13	9	10	10
21	8	6	6	6	5	4	4	6	4	4	5	5	6	15	16	15	13	13	12	12	12	12	10	9	8
22	5	5	6	6	6	6	7	7	8	10	11	12	12	13	15	16	14	13	13	13	13	13	13	15	14
23	7	8	8	8	8	9	9	10	12	13	14	14	16	16	17	15	14	14	14	14	14	13	16	14	15
24	2	4	4	4	4	4	5	5	6	8	8	10	10	11	14	15	13	12	12	11	11	10	10	13	11
25	7	6	6	6	5	4	4	6	4	3	5	5	6	16	17	15	14	14	13	12	12	12	12	9	8
26	0	4	4	4	4	6	6	6	8	9	11	11	14	17	15	15	14	14	13	13	15	13	13	12	12
27	4	0	1	1	1	2	3	4	6	6	10	11	11	17	8	16	15	15	13	13	13	13	13	15	13
28	4	1	0	1	1	2	2	4	6	6	10	10	11	15	16	14	13	13	12	12	11	11	14	12	11
29	4	1	1	0	1	2	2	4	10	11	15	10	10	15	16	14	13	13	12	11	11	11	14	12	11
30	4	1	1	1	0	2	2	4	10	11	15	10	10	16	17	15	14	14	12	12	12	14	12	12	10

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 38: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 3)

	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
1	12	10	10	10	10	8	8	8	6	5	3	3	2	12	13	12	11	10	9	9	8	8	6	5	4
2	12	10	10	10	10	8	8	8	6	5	4	3	2	13	14	13	11	11	10	10	9	8	7	5	5
3	8	8	8	8	6	5	5	4	4	4	5	5	6	15	16	15	14	14	12	12	12	12	11	9	9
4	9	8	8	8	8	6	6	11	11	10	11	12	12	22	22	22	20	20	18	18	18	18	18	17	17
5	10	10	10	10	9	8	8	13	12	12	13	13	14	22	23	22	21	21	20	20	20	19	19	17	16
6	18	17	17	17	17	16	15	20	20	19	20	21	21	30	30	29	28	28	27	27	27	26	26	24	24
7	15	14	13	13	13	13	13	20	20	19	20	21	21	30	30	29	28	28	27	27	27	26	26	24	24
8	19	19	18	18	18	17	16	21	21	20	21	22	22	32	32	31	30	30	29	29	28	28	27	25	25
9	18	18	17	17	17	16	16	20	20	19	20	21	21	31	32	30	30	30	28	28	28	27	27	24	24
10	18	17	17	17	17	16	15	20	20	19	20	21	21	31	32	31	30	30	28	28	28	27	27	27	24
11	19	19	19	19	18	17	17	21	21	21	22	22	22	32	33	32	31	31	29	29	29	29	26	26	26
12	19	18	18	18	18	17	16	21	21	20	21	22	22	32	33	31	30	30	29	29	29	28	28	25	25
13	17	18	18	18	18	19	18	20	22	23	24	25	25	26	28	26	25	25	25	25	25	24	27	25	25
14	17	17	17	17	18	18	18	20	22	22	24	24	25	26	27	25	24	24	24	24	24	24	27	25	25
15	17	17	17	17	18	18	18	20	22	22	24	24	25	26	27	25	24	24	24	24	24	24	27	25	25
16	6	7	7	7	7	8	8	10	12	12	13	14	14	16	17	15	15	15	15	15	15	14	14	13	15
17	7	7	7	8	8	8	8	10	12	12	14	14	15	16	17	15	14	14	15	14	14	14	14	13	15
18	4	5	5	5	6	6	8	10	11	11	12	13	13	15	17	15	14	14	13	13	13	15	14	12	13
19	7	8	8	8	8	9	9	10	13	13	13	13	14	13	11	12	11	11	12	12	11	11	14	13	13
20	17	15	15	15	15	13	13	12	10	10	9	8	7	17	18	16	15	15	14	14	13	13	9	10	10
21	8	6	6	6	5	4	4	6	4	4	5	5	6	15	16	15	13	13	12	12	12	12	10	9	8
22	5	5	6	6	6	6	7	7	8	10	11	12	12	13	15	16	14	13	13	13	13	13	13	15	14
23	7	8	8	8	8	9	9	10	12	13	14	14	16	16	17	15	14	14	14	14	14	13	16	14	15
24	2	4	4	4	4	4	5	5	6	8	8	10	10	11	14	15	13	12	12	11	11	10	10	13	11
25	7	6	6	6	5	4	4	6	4	3	5	5	6	16	17	15	14	14	13	12	12	12	12	9	8
26	0	4	4	4	4	6	6	6	8	9	11	11	14	17	15	15	14	14	13	13	15	13	13	12	12
27	4	0	1	1	1	2	3	4	6	6	10	11	11	17	8	16	15	15	13	13	13	13	13	15	13
28	4	1	0	1	1	2	2	4	6	6	10	10	11	15	16	14	13	13	12	12	11	11	14	12	11
29	4	1	1	0	1	2	2	4	10	11	15	10	10	15	16	14	13	13	12	11	11	11	14	12	11
30	4	1	1	1	0	2	2	4	10	11	15	10	10	16	17	15	14	14	12	12	12	14	12	12	10

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 39: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 4)

	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	1	10	10	10	10	8	8	8	6	5	3	3	2	12	13	12	11	10	9	9	8	8	6	5	4
2	1	10	10	10	10	8	8	8	6	5	4	3	2	13	14	13	11	11	10	10	9	8	7	5	5
3	8	8	8	8	6	5	5	4	4	4	5	5	6	15	16	15	14	14	12	12	12	12	11	9	9
4	9	8	8	8	8	6	6	11	11	10	11	12	12	22	22	22	20	20	18	18	18	18	18	17	17
5	1	10	10	10	9	8	8	13	12	12	13	13	14	22	23	22	21	21	20	20	20	19	19	17	16
6	8	17	17	17	17	16	15	20	20	19	20	21	21	30	30	29	28	28	27	27	27	26	26	24	24
7	5	14	13	13	13	13	13	20	20	19	20	21	21	30	30	29	28	28	27	27	27	26	26	24	24
8	1	19	18	18	18	17	16	21	21	20	21	22	22	32	32	31	30	30	29	29	28	28	27	25	25
9	1	18	17	17	17	16	16	20	20	19	20	21	21	31	32	30	30	30	28	28	28	27	27	24	24
10	8	17	17	17	17	16	15	20	20	19	20	21	21	31	32	31	30	30	28	28	28	27	27	27	24
11	9	19	19	19	18	17	17	21	21	21	22	22	22	32	33	32	31	31	29	29	29	29	26	26	26
12	9	18	18	18	18	17	16	21	21	20	21	22	22	32	33	31	30	30	29	29	29	28	28	25	25
13	1	18	18	18	18	19	18	20	22	23	24	25	25	26	28	26	25	25	25	25	25	24	27	25	25
14	1	17	17	17	18	18	18	20	22	22	24	24	25	26	27	25	24	24	24	24	24	24	27	25	25
15	1	17	17	17	18	18	18	20	22	22	24	24	25	26	27	25	24	24	24	24	24	24	27	25	25
16	6	7	7	7	7	8	8	10	12	12	13	14	14	16	17	15	15	15	15	15	15	14	14	13	15
17	7	7	7	8	8	8	8	10	12	12	14	14	15	16	17	15	14	14	15	14	14	14	14	13	15
18	4	5	5	5	6	6	8	10	11	11	12	13	13	15	17	15	14	14	13	13	13	15	14	12	13
19	7	8	8	8	8	9	9	10	13	13	13	13	14	13	11	12	11	11	12	12	11	11	14	13	13
20	1	15	15	15	15	13	13	12	10	10	9	8	7	17	18	16	15	15	14	14	13	13	9	10	10
21	8	6	6	6	5	4	4	6	4	4	5	5	6	15	16	15	13	13	12	12	12	12	10	9	8
22	5	5	6	6	6	6	7	7	8	10	11	12	12	13	15	16	14	13	13	13	13	13	13	15	14
23	7	8	8	8	8	9	9	10	12	13	14	14	16	16	17	15	14	14	14	14	14	13	16	14	15
24	2	4	4	4	4	4	5	5	6	8	8	10	10	11	14	15	13	12	12	11	11	10	10	13	11
25	7	6	6	6	5	4	4	6	4	3	5	5	6	16	17	15	14	14	13	12	12	12	12	9	8
26	0	4	4	4	4	6	6	6	8	9	11	11	14	17	15	15	14	14	13	13	15	13	13	12	12
27	4	0	1	1	1	2	3	4	6	6	10	11	11	17	8	16	15	15	13	13	13	13	13	15	13
28	4	1	0	1	1	2	2	4	6	6	10	10	11	15	16	14	13	13	12	12	11	11	14	12	11
29	4	1	1	0	1	2	2	4	10	11	15	10	10	15	16	14	13	13	12	11	11	11	14	12	11
30	4	1	1	1	0	2	2	4	10	11	15	10	10	16	17	15	14	14	12	12	12	14	12	12	10

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 40: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 5)

	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
1	29	9	11	10	11	10	10	10	9	9	10	9	7	6	7	4
2	30	11	13	11	12	11	12	12	11	10	12	11	8	8	9	4
3	25	12	11	11	12	11	11	11	12	12	11	10	6	10	11	7
4	27	14	12	14	13	14	14	14	15	15	14	13	14	13	14	14
5	28	15	13	14	14	14	15	15	16	16	16	14	14	15	15	16
6	37	24	21	23	23	23	25	24	24	25	24	23	21	23	25	23
7	37	24	21	23	23	23	25	24	24	25	24	23	21	23	25	23
8	37	24	22	24	25	24	25	25	25	24	24	22	22	24	25	24
9	37	24	21	23	23	23	25	23	24	25	24	23	21	23	25	23
10	34	25	21	23	23	23	24	23	24	25	24	23	21	23	24	23
11	37	26	23	24	24	23	25	25	26	26	25	24	23	24	26	24
12	36	25	22	24	23	24	25	24	25	25	24	23	22	23	25	24
13	32	20	17	19	18	19	20	19	20	20	19	20	21	21	21	24
14	31	19	17	18	18	18	20	19	19	20	19	20	20	20	24	23
15	31	19	17	18	18	18	20	19	19	20	19	20	20	20	24	23
16	19	9	7	8	8	8	10	9	9	10	9	9	11	11	10	14
17	22	9	7	8	8	8	10	9	9	10	9	0	11	11	10	14
18	20	8	6	7	7	7	8	8	8	8	8	7	9	9	8	12
19	21	3	4	4	4	7	5	6	6	5	6	6	8	9	7	12
20	33	15	17	15	16	15	16	16	15	14	16	15	12	12	13	9
21	12	11	11	12	11	10	10	11	11	10	9	6	6	9	8	12
22	21	9	6	8	8	8	8	8	9	9	9	7	7	10	9	13
23	23	9	8	9	8	9	9	10	10	11	10	8	8	11	9	13
24	22	8	6	7	6	7	7	7	8	8	6	6	7	6	7	9
25	25	14	11	13	12	13	13	13	13	12	10	6	13	10	12	8
26	23	12	7	9	8	9	10	9	11	11	10	8	11	8	10	11
27	23	12	9	10	9	10	10	10	11	11	10	8	6	8	10	11
28	23	10	8	9	8	9	8	8	9	9	8	7	6	7	8	11
29	23	10	8	9	8	9	8	9	9	9	8	7	6	8	8	11
30	23	11	8	9	8	9	9	9	10	10	9	8	7	8	9	11

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 41: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 6)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
31	7	7	4	3	6	14	14	15	15	15	15	16	19	19	18	8	8	6	7	11	4	7	9	5	5
32	7	7	3	3	7	15	15	15	15	15	16	16	20	19	19	9	9	6	9	8	4	8	11	8	8
33	6	6	3	3	6	15	14	15	15	15	15	16	20	19	20	9	10	7	10	7	4	8	11	8	8
34	6	5	2	2	6	15	14	14	14	15	15	15	20	19	21	10	10	7	10	6	4	9	12	8	4
35	5	4	1	2	5	15	13	14	14	14	14	15	21	19	21	10	11	7	10	6	4	9	13	9	5
36	4	4	1	1	5	15	13	13	13	14	14	14	21	20	22	10	11	7	10	5	4	9	14	8	8
37	4	4	1	1	4	14	13	13	13	13	13	14	22	20	23	11	12	8	11	5	4	10	14	8	8
38	3	4	1	1	4	14	12	12	12	13	13	13	22	20	23	11	12	8	11	4	4	10	15	8	4
39	2	2	9	5	4	8	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	8	8	11	4	3	11	16	8	8
40	1	1	7	4	3	6	14	14	15	15	15	15	16	19	19	18	8	8	12	3	3	11	17	8	8
41	1	9	5	4	8	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	8	8	9	12	3	3	11	18	8	4
42	9	7	4	3	6	14	14	15	15	15	15	16	19	19	18	8	8	10	12	2	3	12	18	8	8
43	7	7	3	3	7	15	15	15	15	15	16	16	20	19	19	9	9	10	13	2	3	12	19	8	8
44	7	6	3	3	6	15	14	15	15	15	15	16	20	19	20	9	10	11	13	1	3	12	20	8	4
45	6	5	2	2	6	15	14	14	14	15	15	15	20	19	21	10	10	11	13	4	3	13	21	9	5
46	5	4	1	2	5	15	13	14	14	14	14	15	21	19	21	10	11	10	13	5	3	13	21	8	8
47	4	4	1	1	5	15	13	13	13	14	14	14	21	20	22	10	11	10	14	6	3	13	22	8	8
48	4	1	1	5	15	13	13	13	14	14	14	21	20	22	10	11	17	10	14	9	3	14	23	8	4
49	5	1	6	2	9	13	12	13	13	13	13	17	21	21	17	15	18	11	14	7	2	14	24	9	5
50	7	7	3	3	7	15	15	15	15	15	16	16	20	19	19	9	9	10	13	2	3	12	19	5	4
51	7	6	3	3	6	15	14	15	15	15	15	16	20	19	20	9	10	11	13	1	3	12	20	4	4
52	6	5	2	2	6	15	14	14	14	15	15	15	20	19	21	10	10	11	13	8	3	13	21	4	3
53	5	4	1	2	5	15	13	14	14	14	14	15	21	19	21	10	11	10	13	7	3	13	21	3	3
54	4	4	1	1	5	15	13	13	13	14	14	14	21	20	22	10	11	10	14	8	3	13	22	3	3
55	4	1	1	5	15	13	13	13	14	14	14	21	20	22	10	11	17	10	14	4	3	14	23	2	3
56	5	1	7	2	9	13	12	13	13	13	13	17	21	21	17	15	18	11	14	6	2	14	24	2	3
57	7	7	3	3	7	15	15	15	15	15	16	16	20	19	19	9	9	10	13	2	3	12	19	1	3
58	7	6	3	3	6	15	14	15	15	15	15	16	20	19	20	9	10	11	13	1	3	12	20	2	3
59	6	5	2	2	6	15	14	14	14	15	15	15	20	19	21	10	10	11	13	8	3	13	21	1	3
60	5	4	1	2	5	15	13	14	14	14	14	15	21	19	21	10	11	10	13	4	3	13	21	2	3

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 42: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 7)

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	5	2	2	2	2	0	1	5	10	10	15	11	11	17	8	16	15	15	14	13	13	13	15	12	11
32	4	4	1	4	4	1	0	8	10	10	16	10	11	15	16	12	12	11	11	10	10	13	11	11	9
33	4	4	1	5	5	4	1	0	11	11	17	10	10	15	16	14	13	12	12	12	12	9	8	7	7
34	4	4	1	4	4	5	4	1	0	7	9	10	10	16	17	14	13	13	15	13	13	12	12	12	12
35	5	5	2	4	4	4	5	4	1	0	8	8	8	17	18	15	13	13	12	12	11	11	10	10	13
36	4	4	1	4	4	4	4	5	4	1	0	9	7	5	7	13	12	12	14	13	12	12	12	12	9
37	4	4	1	8	8	4	4	4	5	4	1	0	8	4	6	13	12	11	14	13	13	15	13	13	12
38	4	4	1	8	8	4	4	4	4	5	4	1	0	3	8	14	12	12	15	13	13	13	13	13	15
39	4	4	1	8	4	4	4	4	4	4	5	4	1	0	8	15	14	13	13	12	12	12	11	11	10
40	4	4	1	9	5	5	5	2	4	4	4	5	4	1	0	5	3	4	13	12	14	13	12	12	12
41	4	4	1	5	4	10	14	8	8	4	4	4	5	4	1	0	6	5	14	12	14	13	13	15	13
42	4	4	1	4	4	10	15	8	4	4	4	4	4	5	4	1	0	4	15	14	15	13	13	13	13
43	4	4	1	4	3	11	16	8	8	4	4	4	4	4	5	4	1	0	24	8	13	12	12	11	11
44	4	4	1	3	3	11	17	8	8	4	4	1	4	1	4	5	4	1	0	6	13	12	11	11	11
45	5	5	2	3	3	11	18	8	4	4	4	1	5	2	4	4	5	4	1	0	14	12	12	12	14
46	4	4	1	2	3	12	18	8	8	4	4	1	4	1	4	4	4	5	4	1	0	14	13	13	13
47	4	4	1	2	3	12	19	8	8	4	4	1	4	1	4	1	4	4	5	4	1	0	7	7	4
48	4	4	1	1	3	12	20	8	4	4	4	1	4	1	5	2	4	4	4	5	4	1	0	8	9
49	5	5	2	0	3	13	21	9	5	5	5	2	5	2	4	1	5	4	4	4	5	4	1	0	8
50	10	14	8	8	4	4	1	8	8	4	4	1	4	1	4	1	4	1	4	4	4	5	4	1	0
51	10	15	8	4	4	4	1	5	4	10	14	8	4	1	4	12	19	8	8	4	4	1	5	4	1
52	11	16	8	8	4	4	1	4	4	10	15	8	4	1	4	12	20	8	4	4	4	1	4	5	2
53	11	17	8	8	4	4	1	4	3	11	16	8	8	4	4	13	21	9	5	5	5	2	4	4	4
54	11	18	8	4	4	4	1	3	3	11	17	8	8	4	4	4	1	8	8	4	4	1	4	4	5
55	12	18	8	8	4	4	1	3	3	11	18	8	4	4	4	4	1	5	4	10	14	8	9	4	4
56	12	19	8	8	4	4	1	2	3	12	18	8	8	4	4	12	19	8	8	4	4	1	8	5	4
57	12	20	8	4	4	4	1	2	3	12	19	8	8	4	4	12	20	8	4	4	4	1	6	7	4
58	12	19	8	8	4	4	1	1	3	12	20	8	4	4	4	13	21	9	5	5	5	2	5	8	9
59	12	20	8	4	4	4	1	8	3	13	21	9	5	5	5	4	1	8	8	4	4	1	3	4	5
60	12	19	8	8	4	4	1	7	3	13	21	8	8	4	4	4	1	5	4	10	14	8	7	2	6

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 43: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 8)

	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
31	10	10	10	10	9	10	10	10	10	9	7	8	8	8	8	5	7	8	9	14	18	11	12	13	13
32	13	11	11	10	10	9	8	7	5	5	4	4	4	4	3	3	10	10	9	9	10	9	7	6	7
33	15	14	14	12	12	12	12	11	9	9	9	7	7	7	7	12	12	11	10	12	11	8	8	9	
34	22	20	20	18	18	18	18	18	17	17	15	15	13	13	13	13	11	11	12	12	11	10	6	10	11
35	11	11	9	20	20	20	19	19	17	16	15	15	15	15	15	15	14	14	15	15	14	13	14	13	14
36	8	7	7	27	27	27	26	26	24	24	22	22	22	22	22	23	15	15	16	16	16	14	14	15	15
37	12	12	12	27	27	27	26	26	24	24	22	22	22	22	22	23	25	24	24	25	24	23	21	23	25
38	13	12	11	29	29	28	28	27	25	25	24	24	24	23	23	23	25	24	24	25	24	23	21	23	25
39	10	13	11	11	9	28	27	27	24	24	23	23	23	23	23	22	25	25	25	24	24	22	22	24	25
40	12	9	8	7	7	28	27	27	27	24	23	23	23	23	23	22	25	23	24	25	24	23	21	23	25
41	13	12	12	12	12	29	29	26	13	11	11	10	10	9	8	7	24	23	24	25	24	23	21	23	24
42	13	15	13	12	11	4	1	9	5	5	5	12	12	12	12	11	25	25	26	26	25	24	23	24	26
43	14	12	11	10	10	4	1	5	4	10	14	18	18	18	18	18	25	24	25	25	24	23	22	23	25
44	14	12	11	10	10	4	1	4	4	10	15	20	20	20	19	19	20	19	20	20	19	20	21	21	21
45	12	12	10	11	11	4	1	4	3	11	16	27	27	27	26	26	20	19	19	20	19	20	20	20	24
46	15	12	11	10	10	4	1	3	3	11	17	27	27	27	26	26	20	19	19	20	19	20	20	20	24
47	13	21	9	5	5	5	2	3	3	11	18	29	29	28	28	27	10	9	9	10	9	9	11	11	10
48	13	21	8	8	4	4	1	2	3	12	18	28	28	28	27	27	10	9	9	10	9	0	11	11	10
49	13	22	8	8	4	4	1	2	3	12	19	28	28	28	27	27	8	8	8	8	8	7	9	9	8
50	14	23	8	4	4	4	1	1	3	12	20	29	29	29	29	26	5	6	6	5	6	6	8	9	7
51	0	24	9	5	5	5	2	0	3	10	15	20	20	20	19	19	16	16	15	14	16	15	12	12	13
52	12	0	5	4	10	14	8	8	4	11	10	15	20	20	20	19	10	11	11	10	9	6	6	9	8
53	4	1	0	5	6	7	8	9	9	11	11	16	27	27	27	26	8	8	9	9	9	7	7	10	9
54	5	4	1	0	12	14	7	8	8	11	11	10	15	20	20	20	9	10	10	11	10	8	8	11	9
55	4	5	4	1	0	21	5	6	8	12	11	11	16	27	27	27	7	7	8	8	6	6	7	6	7
56	4	4	5	4	1	0	3	4	8	12	12	11	17	27	27	27	13	13	13	12	10	6	13	10	12
57	4	4	4	5	4	1	0	6	9	12	12	11	18	29	29	28	10	9	11	11	10	8	11	8	10
58	9	4	4	4	5	4	1	0	8	4	12	12	18	28	28	28	27	27	24	28	28	28	27	27	24
59	9	8	4	4	4	5	2	9	0	3	5	12	19	28	28	28	27	27	27	28	28	28	27	27	27
60	8	7	7	4	4	4	4	1	7	0	6	12	20	29	29	29	29	26	26	29	29	29	29	26	26

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 44: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 9)

	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	1	10	10	10	10	8	8	8	6	5	3	3	2	12	13	12	11	10	9	9	8	8	6	5	4
2	1	10	10	10	10	8	8	8	6	5	4	3	2	13	14	13	11	11	10	10	9	8	7	5	5
3	8	8	8	8	6	5	5	4	4	4	5	5	6	15	16	15	14	14	12	12	12	12	11	9	9
4	9	8	8	8	8	6	6	11	11	10	11	12	12	22	22	22	20	20	18	18	18	18	18	17	17
5	1	10	10	10	9	8	8	13	12	12	13	13	14	22	23	22	21	21	20	20	20	19	19	17	16
6	8	17	17	17	17	16	15	20	20	19	20	21	21	30	30	29	28	28	27	27	27	26	26	24	24
7	5	14	13	13	13	13	13	20	20	19	20	21	21	30	30	29	28	28	27	27	27	26	26	24	24
8	1	19	18	18	18	17	16	21	21	20	21	22	22	32	32	31	30	30	29	29	28	28	27	25	25
9	1	18	17	17	17	16	16	20	20	19	20	21	21	31	32	30	30	30	28	28	28	27	27	24	24
10	8	17	17	17	17	16	15	20	20	19	20	21	21	31	32	31	30	30	28	28	28	27	27	27	24
11	9	19	19	19	18	17	17	21	21	21	22	22	22	32	33	32	31	31	29	29	29	29	26	26	26
12	9	18	18	18	18	17	16	21	21	20	21	22	22	32	33	31	30	30	29	29	29	28	28	25	25
13	1	18	18	18	18	19	18	20	22	23	24	25	25	26	28	26	25	25	25	25	25	24	27	25	25
14	1	17	17	17	18	18	18	20	22	22	24	24	25	26	27	25	24	24	24	24	24	24	27	25	25
15	1	17	17	17	18	18	18	20	22	22	24	24	25	26	27	25	24	24	24	24	24	24	27	25	25
16	6	7	7	7	7	8	8	10	12	12	13	14	14	16	17	15	15	15	15	15	15	14	14	13	15
17	7	7	7	8	8	8	8	10	12	12	14	14	15	16	17	15	14	14	15	14	14	14	14	13	15
18	4	5	5	5	6	6	8	10	11	11	12	13	13	15	17	15	14	14	13	13	13	15	14	12	13
19	7	8	8	8	8	9	9	10	13	13	13	13	14	13	11	12	11	11	12	12	11	11	14	13	13
20	1	15	15	15	15	13	13	12	10	10	9	8	7	17	18	16	15	15	14	14	13	13	9	10	10
21	8	6	6	6	5	4	4	6	4	4	5	5	6	15	16	15	13	13	12	12	12	12	10	9	8
22	5	5	6	6	6	6	7	7	8	10	11	12	12	13	15	16	14	13	13	13	13	13	13	15	14
23	7	8	8	8	8	9	9	10	12	13	14	14	16	16	17	15	14	14	14	14	14	13	16	14	15
24	2	4	4	4	4	4	5	5	6	8	8	10	10	11	14	15	13	12	12	11	11	10	10	13	11
25	7	6	6	6	5	4	4	6	4	3	5	5	6	16	17	15	14	14	13	12	12	12	12	9	8
26	0	4	4	4	4	6	6	6	8	9	11	11	14	17	15	15	14	14	13	13	15	13	13	12	12
27	4	0	1	1	1	2	3	4	6	6	10	11	11	17	8	16	15	15	13	13	13	13	13	15	13
28	4	1	0	1	1	2	2	4	6	6	10	10	11	15	16	14	13	13	12	12	11	11	14	12	11
29	4	1	1	0	1	2	2	4	10	11	15	10	10	15	16	14	13	13	12	11	11	11	14	12	11
30	4	1	1	1	0	2	2	4	10	11	15	10	10	16	17	15	14	14	12	12	12	14	12	12	10

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 45: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 10)

	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
31	24	12	9	11	10	11	11	11	11	11	10	10	8	9	11	10
32	10	10	9	9	10	9	7	6	7	4	10	9	7	6	7	4
33	12	12	11	10	12	11	8	8	9	4	12	11	8	8	9	4
34	11	11	12	12	11	10	6	10	11	7	11	10	6	10	11	7
35	14	14	15	15	14	13	14	13	14	14	14	13	14	13	14	14
36	15	15	16	16	16	14	14	15	15	16	16	14	14	15	15	16
37	25	24	24	25	24	23	21	23	25	23	24	23	21	23	25	23
38	25	24	24	25	24	23	21	23	25	23	24	23	21	23	25	23
39	25	25	25	24	24	22	22	24	25	24	24	22	22	24	25	24
40	25	23	24	25	24	23	21	23	25	23	24	23	21	23	25	23
41	24	23	24	25	24	23	21	23	24	23	24	23	21	23	24	23
42	25	25	26	26	25	24	23	24	26	24	25	24	23	24	26	24
43	25	24	25	25	24	23	22	23	25	24	24	23	22	23	25	24
44	20	19	20	20	19	20	21	21	21	24	19	20	21	21	21	24
45	20	19	19	20	19	20	20	20	24	23	19	20	20	20	24	23
46	20	19	19	20	19	20	20	20	24	23	19	20	20	20	24	23
47	10	9	9	10	9	9	11	11	10	14	9	9	11	11	10	14
48	10	9	9	10	9	0	11	11	10	14	9	0	11	11	10	14
49	8	8	8	8	8	7	9	9	8	12	8	7	9	9	8	12
50	5	6	6	5	6	6	8	9	7	12	6	6	8	9	7	12
51	16	16	15	14	16	15	12	12	13	9	16	15	12	12	13	9
52	10	11	11	10	9	6	6	9	8	12	9	6	6	9	8	12
53	8	8	9	9	9	7	7	10	9	13	9	7	7	10	9	13
54	9	10	10	11	10	8	8	11	9	13	10	8	8	11	9	13
55	7	7	8	8	6	6	7	6	7	9	6	6	7	6	7	9
56	13	13	13	12	10	6	13	10	12	8	10	6	13	10	12	8
57	10	9	11	11	10	8	11	8	10	11	10	8	11	8	10	11
58	9	9	10	9	0	11	10	10	9	9	10	9	7	6	7	4
59	8	8	8	8	7	9	12	12	11	10	12	11	8	8	9	4
60	6	6	5	6	6	8	11	11	12	12	11	10	6	10	11	7

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 46: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 11)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
61	4	4	1	1	5	15	13	13	13	14	14	14	21	20	22	10	11	10	14	3	3	13	22	1	3
62	4	1	1	5	15	13	13	13	14	14	14	21	20	22	10	11	17	10	14	5	3	14	23	12	19
63	5	1	7	2	9	13	12	13	13	13	13	17	21	21	17	15	18	11	14	8	2	14	24	12	20
64	7	7	3	3	7	15	15	15	15	15	16	16	20	19	19	9	9	10	13	2	3	12	19	13	21
65	7	6	3	3	6	15	14	15	15	15	15	16	20	19	20	9	10	11	13	7	3	12	20	4	1
66	6	5	2	2	6	15	14	14	14	15	15	15	20	19	21	10	10	11	13	9	3	13	21	4	1
67	5	4	1	2	5	15	13	14	14	14	14	15	21	19	21	10	11	10	13	8	3	13	21	12	19
68	7	7	3	3	7	15	15	15	15	15	16	16	20	19	19	9	9	10	13	2	3	12	19	12	20
69	7	7	3	3	7	15	15	15	15	15	16	16	20	19	19	9	9	10	13	2	3	12	19	13	21
70	7	6	3	3	6	15	14	15	15	15	15	16	20	19	20	9	10	11	13	1	3	12	20	4	1
71	6	5	2	2	6	15	14	14	14	15	15	15	20	19	21	10	10	11	13	7	3	13	21	4	1
72	5	4	1	2	5	15	13	14	14	14	14	15	21	19	21	10	11	10	13	3	3	13	21	12	19
73	4	4	1	1	5	15	13	13	13	14	14	14	21	20	22	10	11	10	14	1	3	13	22	12	20
74	4	1	1	5	15	13	13	13	14	14	14	21	20	22	10	11	17	10	14	1	3	14	23	13	21
75	5	1	8	2	9	13	12	13	13	13	13	17	21	21	17	15	18	11	14	2	2	14	24	4	1
76	5	1	8	2	9	13	12	13	13	13	13	17	21	20	22	10	11	10	14	1	3	13	22	4	1
77	39	38	34	33	37	44	45	46	45	45	46	47	37	37	37	30	30	30	30	43	31	31	31	30	31
78	40	40	36	34	38	45	46	47	46	46	47	48	38	39	39	31	31	31	30	44	32	32	32	31	32
79	37	37	33	32	35	44	45	46	45	45	46	46	37	37	37	30	30	30	29	42	31	31	32	30	31
80	38	38	34	33	36	44	44	45	45	45	46	46	37	37	37	30	30	30	29	42	30	31	32	29	31
81	38	28	25	23	28	35	35	36	36	36	37	37	27	28	28	20	20	20	20	32	21	21	22	22	23
82	30	30	26	24	28	35	36	36	36	36	37	37	25	26	26	21	21	21	21	34	22	22	23	21	22
83	30	30	26	24	26	32	33	34	34	34	35	34	24	25	25	19	19	22	21	33	22	23	23	21	23
84	29	29	25	24	28	35	36	37	36	36	37	37	24	25	25	21	21	21	21	33	22	22	23	21	22
85	29	29	25	23	27	35	35	36	36	35	36	37	34	24	24	21	21	21	20	32	22	22	22	20	22
86	34	33	29	28	31	39	39	40	40	40	41	41	22	22	22	25	25	25	24	37	25	25	26	24	25
87	41	41	37	36	40	47	47	48	48	47	48	49	29	29	29	33	33	33	33	46	34	34	35	33	34
88	44	44	40	28	42	49	50	50	50	49	50	51	31	31	31	34	34	34	34	47	35	35	36	34	35
89	39	39	35	36	38	34	45	46	46	46	47	47	32	32	32	31	31	30	31	46	31	32	33	31	33
90	44	44	40	28	42	49	50	50	50	49	50	51	31	31	31	34	34	34	34	47	25	35	36	34	35

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 47: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 12)

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
61	12	20	8	4	4	4	1	3	3	3	4	5	7	13	14	12	11	11	10	10	9	9	10	8	8
62	8	8	4	4	1	12	19	8	8	4	4	12	19	8	8	4	4	1	8	8	4	4	1	14	8
63	8	4	4	4	1	12	20	8	4	4	4	12	20	8	4	4	4	1	8	4	4	4	1	4	1
64	9	5	5	5	2	13	21	9	5	5	5	13	21	9	5	5	5	2	9	5	5	5	2	4	1
65	8	8	4	4	1	4	1	8	8	4	4	4	12	19	8	8	4	4	12	19	8	8	4	5	2
66	5	4	10	14	8	4	1	5	4	10	14	4	12	20	8	4	4	4	12	20	8	4	7	8	4
67	8	8	4	4	1	12	19	8	8	4	4	1	13	21	9	5	5	5	13	21	9	5	5	14	8
68	8	4	4	4	1	12	20	8	4	4	4	1	12	19	8	8	4	4	4	1	8	8	4	9	9
69	9	5	5	5	2	13	21	9	5	5	5	2	12	20	8	4	4	4	4	1	5	4	10	14	8
70	8	8	4	4	1	4	1	8	8	4	4	1	13	21	9	5	5	5	2	4	7	7	9	9	8
71	5	4	10	14	8	4	1	5	4	10	14	8	4	1	8	8	4	4	12	12	19	8	8	4	4
72	8	8	4	4	1	12	19	8	8	4	4	1	12	19	8	8	4	4	12	12	19	8	8	4	4
73	8	4	4	4	1	12	20	8	4	4	4	1	12	20	8	4	4	4	13	12	20	8	4	4	4
74	9	5	5	5	2	13	21	9	5	5	5	2	13	21	9	5	5	5	4	13	21	9	5	5	5
75	8	8	4	4	1	4	1	8	8	4	4	1	4	1	8	8	4	4	4	4	1	8	8	4	4
76	5	4	10	14	8	4	1	5	4	10	14	8	4	1	5	4	10	14	8	4	1	5	4	10	14
77	31	32	32	32	33	33	33	35	36	37	39	40	41	38	38	37	36	36	36	36	36	35	38	38	38
78	32	33	33	33	34	34	34	36	38	39	40	0	41	39	39	38	37	37	37	37	37	36	39	39	39
79	31	32	32	32	32	33	33	34	36	37	39	40	40	38	38	37	36	36	36	36	36	36	38	38	38
80	31	32	32	32	32	32	32	34	36	37	38	39	40	38	39	37	37	37	37	37	36	36	39	38	39
81	24	24	24	24	24	25	25	27	29	29	31	31	32	31	31	30	29	29	29	29	29	28	31	31	31
82	23	24	23	23	24	24	24	26	28	29	30	31	31	29	29	28	28	28	28	27	27	27	30	29	30
83	23	24	24	24	24	24	24	26	28	29	30	30	31	30	30	29	28	28	28	28	28	28	30	30	30
84	23	23	23	23	24	24	24	26	28	29	30	30	30	29	29	28	27	27	27	27	27	26	29	29	29
85	22	23	23	23	23	24	23	25	27	28	29	30	30	29	29	28	27	27	27	27	27	27	29	29	29
86	26	27	27	27	27	28	27	29	31	32	34	34	35	33	33	32	31	31	32	32	31	31	34	33	34
87	34	35	35	35	35	36	36	37	39	40	42	42	44	41	41	40	39	39	40	40	39	39	42	41	42
88	36	36	36	36	37	37	37	39	41	42	43	44	45	42	42	41	41	41	41	41	40	40	43	42	43
89	33	34	36	36	36	37	37	39	41	42	43	43	44	43	43	42	41	41	41	41	40	40	43	42	43
90	36	36	36	36	37	37	37	39	41	42	43	44	45	42	42	41	41	41	41	41	40	40	43	42	43

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 48: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 13)

	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
61	6	4	5	7	4	4	5	2	4	3	0	3	4	5	8	5	8	11	12	14	18	10	11	9	10
62	9	4	4	4	14	14	8	9	4	4	4	0	7	8	9	29	26	26	26	24	29	28	28	27	25
63	8		4	4	4	4	14	8	9	4	4	4	0	4	2	11	9	10	11	34	28	28	27	27	24
64	6	7	4	4	4	4	4	14	8	9	4	4	4	0	8	28	27	25	25	24	28	28	27	27	27
65	5	8	9	9	5	5	4	4	14	8	9	4	4	4	0	27	27	24	24	23	29	28	28	27	25
66	9	4	5	9	4	4	5	4	4	14	8	9	4	4	4	0	27	27	24	23	28	28	27	27	24
67	6	2	6	8	14	14	4	5	4	14	14	8	9	4	4	4	0	6	5	7	28	28	29	28	28
68	10	8	8	6	9	9	14	4	5	4	4	14	8	9	4	4	4	0	3	9	29	29	28	28	27
69	14	8	9	4	4	4	9	14	4	4	4	4	14	8	9	4	4	4	0	4	18	10	28	28	27
70	4	1	8		4	4	14	8	9	5	5	4	4	14	8	9	4	4	4	0	5	7	29	29	29
71	4	1	6	7	4	4	4	1	8	4	4	5	4	4	14	8	9	4	4	4	0	9	18	10	11
72	5	2	5	8	9	9	4	1	6	14	14	4	5	4	4	14	8	9	4	4	4	0	9	4	8
73	4	1		4	5	9	5	2	5	9	9	14	4	5	4	4	1	8		4	4	5	0	3	5
74	14	8	7	2	6	8	4	1	5	4	5	9	14	4	5	4	1	6	7	4	4	4	7	0	8
75	9	9	10	8	8	6	14	8	7	2	6	8	9	14	4	5	2	5	8	9	9	5	5	7	0
76	8	14	8	7	2	6	8	9	10	8	8	6		9	14	4	1	4	4	5	9	4	3	6	9
77	40	40	40	40	40	40	40	38	38	37	37	36	36	36	9	14	8	6	2	6	8	29	30	33	33
78	40	40	40	40	40	40	40	38	38	37	37	36	36	36	36	9	9	10	8	8	6	29	30	33	33
79	38	38	39	39	39	39	38	37	36	36	36	35	35	34	34	33	32	27	26	29	29	28	28	31	32
80	38	39	39	39	39	38	38	37	36	36	36	35	34	34	34	33	31	27	26	30	29	28	29	32	33
81	31	32	32	32	33	32	32	31	31	30	30	29	29	29	29	27	26	20	19	23	22	21	22	25	26
82	30	30	30	31	31	30	29	28	28	27	27	26	26	26	26	24	24	19	17	21	20	19	20	24	24
83	30	30	30	31	31	31	30	20	28	28	28	27	27	26	26	25	24	20	18	22	21	20	21	24	25
84	29	29	29	29	29	30	29	28	27	27	27	26	26	25	25	24	23	18	17	21	20	19	20	22	23
85	29	29	29	29	29	30	29	28	28	27	27	26	26	25	25	24	23	18	17	21	19	19	19	22	23
86	34	34	34	34	34	34	33	32	32	31	31	30	30	29	29	28	27	22	21	25	23	23	24	27	27
87	42	42	42	43	43	43	43	41	41	40	40	39	39	38	38	36	35	31	29	33	32	31	32	35	36
88	44	44	44	44	44	43	43	41	41	40	40	39	39	39	39	36	34	30	28	32	36	30	31	34	34
89	43	43	43	43	43	42	42	41	40	40	40	39	39	38	38	37	35	31	30	34	33	32	33	36	37
90	44	44	44	44	44	43	43	41	41	40	40	39	39	39	39	36	34	30	28	32	36	30	31	34	34

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 49: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 14)

	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	
1	1	10	10	10	10	8	8	8	6	5	3	3	2	12	13	12	11	10	9	9	8	8	6	5	4	
2	1	10	10	10	10	8	8	8	6	5	4	3	2	13	14	13	11	11	10	10	9	8	7	5	5	
3	8	8	8	8	6	5	5	4	4	4	5	5	6	15	16	15	14	14	12	12	12	12	11	9	9	
4	9	8	8	8	8	6	6	11	11	10	11	12	12	22	22	22	20	20	18	18	18	18	18	17	17	
5	1	10	10	10	9	8	8	13	12	12	13	13	14	22	23	22	21	21	20	20	20	19	19	17	16	
6	8	17	17	17	17	16	15	20	20	19	20	21	21	30	30	29	28	28	27	27	27	26	26	24	24	
7	5	14	13	13	13	13	13	20	20	19	20	21	21	30	30	29	28	28	27	27	27	26	26	24	24	
8	1	19	18	18	18	17	16	21	21	20	21	22	22	32	32	31	30	30	29	29	28	28	27	25	25	
9	1	18	17	17	17	16	16	20	20	19	20	21	21	31	32	30	30	30	28	28	28	27	27	24	24	
10	8	17	17	17	17	16	15	20	20	19	20	21	21	31	32	31	30	30	28	28	28	27	27	27	24	
11	9	19	19	19	18	17	17	21	21	21	22	22	22	32	33	32	31	31	29	29	29	29	26	26	26	
12	9	18	18	18	18	17	16	21	21	20	21	22	22	32	33	31	30	30	29	29	29	28	28	25	25	
13	1	18	18	18	18	19	18	20	22	23	24	25	25	26	28	26	25	25	25	25	25	24	27	25	25	
14	1	17	17	17	18	18	18	20	22	22	24	24	25	26	27	25	24	24	24	24	24	24	27	25	25	
15	1	17	17	17	18	18	18	20	22	22	24	24	25	26	27	25	24	24	24	24	24	24	27	25	25	
16	6	7	7	7	7	8	8	10	12	12	13	14	14	16	17	15	15	15	15	15	15	14	14	13	15	
17	7	7	7	8	8	8	8	10	12	12	14	14	15	16	17	15	14	14	15	14	14	14	14	13	15	
18	4	5	5	5	6	6	8	10	11	11	12	13	13	15	17	15	14	14	13	13	13	15	14	12	13	
19	7	8	8	8	8	9	9	10	13	13	13	13	14	13	11	12	11	11	12	12	11	11	14	13	13	
20	1	15	15	15	15	13	13	12	10	10	9	8	7	17	18	16	15	15	14	14	14	13	13	9	10	10
21	8	6	6	6	5	4	4	6	4	4	5	5	6	15	16	15	13	13	12	12	12	12	10	9	8	
22	5	5	6	6	6	6	7	7	8	10	11	12	12	13	15	16	14	13	13	13	13	13	13	15	14	
23	7	8	8	8	8	9	9	10	12	13	14	14	16	16	17	15	14	14	14	14	14	13	16	14	15	
24	2	4	4	4	4	4	5	5	6	8	8	10	10	11	14	15	13	12	12	11	11	10	10	13	11	
25	7	6	6	6	5	4	4	6	4	3	5	5	6	16	17	15	14	14	13	12	12	12	12	9	8	
26	0	4	4	4	4	6	6	6	8	9	11	11	14	17	15	15	14	14	13	13	15	13	13	12	12	
27	4	0	1	1	1	2	3	4	6	6	10	11	11	17	8	16	15	15	13	13	13	13	13	15	13	
28	4	1	0	1	1	2	2	4	6	6	10	10	11	15	16	14	13	13	12	12	11	11	14	12	11	
29	4	1	1	0	1	2	2	4	10	11	15	10	10	15	16	14	13	13	12	11	11	11	14	12	11	
30	4	1	1	1	0	2	2	4	10	11	15	10	10	16	17	15	14	14	12	12	12	14	12	12	10	

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 50: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 15)

	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
61	16	15	14	16	15	12	14	14	15	15	14	13	14	13	14	14
62	11	11	10	9	6	6	15	15	16	16	16	14	14	15	15	16
63	11	11	10	14	9	10	9	8	10	9	9	10	9	8	11	23
64	9	9	8	12	8	8	8	7	8	8	8	8	8	7	9	23
65	8	9	7	12	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	8	24
66	12	12	13	9	15	14	16	15	16	16	15	14	16	15	12	23
67	6	9	8	12	11	10	9	6	10	11	11	10	9	6	6	23
68	7	7	7	7	7	7	25	25	26	26	25	24	23	24	26	24
69	13	13	13	13	13	13	25	24	25	25	24	23	22	23	25	24
70	15	15	15	15	15	15	20	19	20	20	19	20	21	21	21	24
71	22	22	22	23	23	23	20	19	19	20	19	20	20	20	24	23
72	22	22	22	23	23	23	20	19	19	20	19	20	20	20	24	23
73	24	23	23	23	23	23	10	9	9	10	9	9	11	11	10	14
74	23	23	23	22	22	22	10	9	9	10	9	0	11	11	10	14
75	23	23	23	22	22	22	8	8	8	8	8	7	9	9	8	12
76	24	24	24	24	24	24	5	6	6	5	6	6	8	9	7	12
77	20	32	29	31	31	31	16	16	15	14	16	15	12	12	13	9
78	20	32	29	31	31	31	10	11	11	10	9	6	6	9	8	12
79	18	31	28	30	29	30	8	8	9	9	9	7	7	10	9	13
80	18	30	27	29	29	29	9	10	10	11	10	8	8	11	9	13
81	10	26	23	25	24	25	7	7	8	8	6	6	7	6	7	9
82	10	23	20	22	21	22	13	13	13	12	10	6	13	10	12	8
83	11	24	21	23	22	23	10	9	11	11	10	8	11	8	10	11
84	10	22	19	21	21	21	24	22	22	23	22	23	25	26	24	29
85	10	21	19	21	21	21	24	21	21	22	22	22	25	26	24	28
86	14	24	23	23	24	26	28	27	27	27	26	28	29	30	29	33
87	22	35	32	34	33	34	37	35	35	35	35	36	38	38	37	41
88	23	34	30	32	21	32	32	33	34	33	34	35	36	37	35	42
89	23	35	32	34	34	34	37	35	35	36	35	35	38	38	37	42
90	23	34	30	32	31	32	32	33	34	33	34	35	36	37	35	42

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 51: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 16)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
91	4	4	1	1	5	15	13	13	13	14	14	14	21	20	22	10	11	10	14	3	3	13	22	1	3
92	4	1	1	5	15	13	13	13	14	14	14	21	20	22	10	11	17	10	14	5	3	14	23	12	19
93	5	1	7	2	9	13	12	13	13	13	13	17	21	21	17	15	18	11	14	8	2	14	24	12	20
94	7	7	3	3	7	15	15	15	15	15	16	16	20	19	19	9	9	10	13	2	3	12	19	13	21
95	7	6	3	3	6	15	14	15	15	15	15	16	20	19	20	9	10	11	13	7	3	12	20	4	1
96	6	5	2	2	6	15	14	14	14	15	15	15	20	19	21	10	10	11	13	9	3	13	21	4	1
97	5	4	1	2	5	15	13	14	14	14	14	15	21	19	21	10	11	10	13	8	3	13	21	12	19
98	7	7	3	3	7	15	15	15	15	15	16	16	20	19	19	9	9	10	13	2	3	12	19	12	20
99	7	7	3	3	7	15	15	15	15	15	16	16	20	19	19	9	9	10	13	2	3	12	19	13	21
100	7	6	3	3	6	15	14	15	15	15	15	16	20	19	20	9	10	11	13	1	3	12	20	4	1
101	6	5	2	2	6	15	14	14	14	15	15	15	20	19	21	10	10	11	13	7	3	13	21	4	1
102	5	4	1	2	5	15	13	14	14	14	14	15	21	19	21	10	11	10	13	3	3	13	21	12	19
103	4	4	1	1	5	15	13	13	13	14	14	14	21	20	22	10	11	10	14	1	3	13	22	12	20
104	4	1	1	5	15	13	13	13	14	14	14	21	20	22	10	11	17	10	14	1	3	14	23	13	21
105	5	1	8	2	9	13	12	13	13	13	13	17	21	21	17	15	18	11	14	2	2	14	24	4	1
106	5	1	8	2	9	13	12	13	13	13	13	17	21	20	22	10	11	10	14	1	3	13	22	4	1
107	39	38	34	33	37	44	45	46	45	45	46	47	37	37	37	30	30	30	30	43	31	31	31	30	31
108	40	40	36	34	38	45	46	47	46	46	47	48	38	39	39	31	31	31	30	44	32	32	32	31	32
109	37	37	33	32	35	44	45	46	45	45	46	46	37	37	37	30	30	30	29	42	31	31	32	30	31
110	38	38	34	33	36	44	44	45	45	45	46	46	37	37	37	30	30	30	29	42	30	31	32	29	31
111	38	28	25	23	28	35	35	36	36	36	37	37	27	28	28	20	20	20	20	32	21	21	22	22	23
112	30	30	26	24	28	35	36	36	36	36	37	37	25	26	26	21	21	21	21	34	22	22	23	21	22
113	30	30	26	24	26	32	33	34	34	34	35	34	24	25	25	19	19	22	21	33	22	23	23	21	23
114	29	29	25	24	28	35	36	37	36	36	37	37	24	25	25	21	21	21	21	33	22	22	23	21	22
115	29	29	25	23	27	35	35	36	36	35	36	37	34	24	24	21	21	21	20	32	22	22	22	20	22
116	34	33	29	28	31	39	39	40	40	40	41	41	22	22	22	25	25	25	24	37	25	25	26	24	25

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 52: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 17)

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
91	20	21	21	21	21	22	21	23	25	26	27	28	28	27	27	26	25	25	26	25	25	25	28	27	27
92	20	20	20	20	21	21	21	23	25	26	27	27	28	27	27	26	25	25	25	25	25	25	28	27	28
93	20	20	20	20	21	21	21	23	25	26	27	28	28	27	27	26	25	25	26	24	24	24	27	26	26
94	20	21	21	21	21	22	21	23	25	26	27	28	28	27	27	26	26	26	26	26	26	25	28	28	28
95	18	19	19	19	19	20	20	22	24	24	26	26	28	25	25	25	24	24	24	24	24	23	26	26	26
96	20	20	20	21	21	21	21	23	25	26	28	28	29	26	27	26	25	25	26	27	26	26	29	28	29
97	21	22	22	22	22	23	23	25	27	28	29	30	30	28	28	27	26	26	26	26	26	26	29	28	28
98	19	20	20	20	20	21	21	22	24	26	29	30	30	28	29	28	27	27	28	27	27	27	30	29	27
99	18	19	19	20	20	21	21	22	24	24	26	27	27	26	27	26	25	25	25	25	25	24	27	26	27
100	20	21	21	21	21	22	22	24	26	26	28	28	29	28	28	27	25	25	25	25	25	24	27	27	27
101	22	23	24	23	23	24	24	26	27	28	31	31	31	30	30	29	29	29	28	28	27	27	30	30	30
102	10	12	12	12	12	13	13	12	13	12	10	10	9	9	10	8	7	7	7	7	7	6	10	9	9
103	6	8	8	8	9	10	10	9	10	10	11	12	13	10	11	10	10	9	9	9	8	11	11	11	
104	7	8	8	9	9	10	10	9	10	9	9	9	10	9	10	9	8	8	8	8	8	7	10	9	9
105	8	9	8	9	9	10	10	9	10	10	10	10	10	10	11	10	9	9	9	9	8	8	11	9	10
106	8	8	8	8	8	10	10	9	9	9	9	9	10	10	10	9	8	8	8	8	8	7	10	9	9
107	8	8	8	8	8	10	11	9	10	10	11	11	11	13	14	12	11	11	10	9	9	9	11	10	11
108	8	8	8	8	8	10	10	9	10	9	9	10	11	13	13	11	10	10	9	9	9	9	11	10	9
109	8	10	10	10	10	12	12	11	12	11	9	10	10	9	10	9	8	8	8	8	7	7	10	9	10
110	9	9	10	10	10	11	11	10	11	10	11	11	11	9	10	8	7	7	8	8	7	7	10	9	11
111	12	12	13	13	13	14	15	13	13	13	11	11	10	9	10	8	7	7	7	7	7	6	9	9	9
112	7	7	7	7	8	9	9	8	8	8	9	9	10	13	14	12	11	11	9	9	9	9	11	9	9
113	6	6	6	6	6	7	8	4	4	4	4	5	7	11	12	10	9	9	8	8	7	7	9	7	7
114	10	9	10	10	10	11	12	8	9	9	6	6	6	9	9	8	6	6	5	5	5	4	6	5	5
115	9	10	10	10	10	11	12	11	11	11	9	9	8	8	9	7	6	6	6	6	5	5	8	7	7
116	11	9	9	8	8	7	6	7	5	4	3	4	4	15	16	14	14	13	11	11	11	10	9	7	7

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 53: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 18)

	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
91	28	28	28	29	29	29	28	27	27	26	26	25	25	24	24	22	21	16	15	19	18	17	18	21	22
92	29	29	29	29	29	29	29	27	27	26	26	25	25	24	24	22	21	17	15	19	18	17	18	21	22
93	27	27	27	28	28	28	27	226	26	24	24	23	23	23	23	21	20	16	14	18	17	16	17	20	21
94	28	29	29	29	29	29	28	27	27	25	25	24	24	24	24	22	21	16	15	18	17	16	17	21	21
95	27	27	27	27	27	28	27	26	26	24	24	23	23	23	23	21	20	15	14	18	17	16	17	20	21
96	28	28	28	28	28	29	29	27	27	27	27	26	26	26	26	22	19	16	26	18	22	17	20	21	21
97	27	28	28	28	28	28	27	26	26	25	24	23	23	23	23	20	19	15	13	17	16	15	16	19	20
98	30	30	31	31	31	31	30	29	29	27	27	26	26	26	26	24	23	18	17	21	20	19	20	23	24
99	25	25	25	25	25	26	25	24	23	23	23	22	22	22	21	20	19	15	13	17	16	15	16	19	19
100	27	27	27	27	27	28	27	26	25	25	24	24	23	23	23	22	20	16	15	19	18	17	18	21	21
101	32	32	32	31	32	31	31	30	30	29	29	28	28	28	28	25	24	20	18	23	21	21	22	25	26
102	8	8	8	8	9	11	10	9	9	8	10	9	9	9	9	9	8	8	8	9	13	6	7	4	5
103	12	12	12	12	12	12	11	10	10	9	8	8	7	7	7	6	5	4	4	8	12	5	6	5	7
104	8	8	8	9	9	9	8	7	7	6	6	5	5	5	5	5	4	6	6	9	13	5	6	4	5
105	9	9	9	9	9	10	9	8	8	7	7	6	6	6	6	6	4	5	5	9	13	5	6	5	6
106	8	8	8	8	8	9	8	7	7	6	6	5	5	5	5	5	5	6	6	8	12	5	6	4	6
107	10	10	10	10	10	11	10	9	9	7	7	6	6	6	6	6	5	7	7	11	15	7	9	7	8
108	8	8	8	8	8	9	8	7	7	6	6	5	5	5	5	5	4	7	8	10	14	7	8	5	6
109	9	9	9	9	9	10	9	8	7	7	8	7	7	7	7	7	6	8	8	9	13	5	6	4	5
110	10	10	10	10	10	11	10	9	9	8	8	7	7	7	7	7	6	7	7	9	13	5	10	8	5
111	8	8	9	9	9	11	10	9	9	8	10	9	9	9	9	10	8	9	9	11	15	7	8	4	5
112	8	8	8	8	8	9	8	7	6	5	5	4	4	4	4	4	5	10	10	15	19	11	13	8	8
113	6	6	6	6	6	4	4	3	2	2	1	1	1	1	1	3	6	9	10	11	15	8	9	7	8
114	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	6	5	5	5	5	6	6	9	10	9	13	7	7	4	5
115	6	6	7	7	7	9	9	7	7	7	8	7	7	7	7	8	8	8	8	7	11	6	6	2	3
116	6	6	6	6	5	5	6	5	6	7	5	6	6	6	7	10	13	13	14	18	22	17	17	13	14

Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 54: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 19)

	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
91	21	10	11	10	11	2	3	6	3	3	7	16	17	17	17	0	2	2	1	3	3	2	4	1	5
92	21	12	12	11	12	3	3	5	3	3	7	15	17	16	17	2	0	1	2	3	4	3	4	1	5
93	20	11	11	10	11	3	3	5	4	4	8	16	17	17	17	1	1	0	1	3	3	2	4	1	4
94	21	12	13	12	13	4	5	7	5	5	9	18	19	18	19	2	2	3	0	2	3	2	3	1	4
95	21	13	14	13	13	5	5	6	5	5	9	17	18	18	18	3	3	4	2	0	1	1	1	2	2
96	21	14	15	13	13	5	6	7	6	6	10	19	19	20	19	1	2	1	8	6	0	5	2	8	1
97	20	12	13	12	13	4	5	5	5	5	8	17	18	18	18	2	2	3	1	1	1	0	2	1	2
98	23	14	15	14	14	6	7	7	7	7	10	19	19	19	19	4	4	5	3	2	1	2	0	10	2
99	19	12	12	11	12	4	5	6	5	5	9	17	18	18	18	2	2	3	1	2	2	2	3	0	4
100	21	14	15	14	15	6	7	8	7	7	11	19	20	20	20	4	5	5	4	2	2	2	2	5	0
101	25	18	18	17	17	9	10	10	10	10	13	22	23	23	23	7	7	8	7	4	5	5	5	6	3
102	6	31	32	31	31	22	23	23	22	22	25	33	34	34	34	20	20	21	20	20	20	19	21	20	21
103	8	27	28	27	27	19	19	18	18	18	21	29	30	30	30	17	16	17	16	16	16	15	17	16	17
104	6	30	31	30	20	21	22	20	21	21	23	32	33	33	33	19	19	20	19	19	19	18	20	19	20
105	7	28	28	27	28	20	21	19	20	20	22	31	32	32	32	32	18	19	17	17	18	17	18	18	19
106	7	29	30	29	30	21	22	20	21	21	23	32	33	33	33	19	19	20	21	19	19	18	20	19	20
107	9	30	30	29	30	21	22	21	21	21	24	32	33	33	33	19	19	20	21	19	19	18	20	19	20
108	7	31	32	31	31	22	23	22	22	22	25	33	37	34	37	20	20	21	23	20	22	19	21	20	21
109	7	31	32	31	31	23	24	23	24	24	26	34	35	35	35	21	21	22	22	21	21	20	22	21	22
110	7	30	31	30	30	22	23	22	22	22	24	33	34	34	34	20	20	21	22	19	20	19	21	19	21
111	6	33	34	33	33	24	25	24	24	24	27	35	36	36	36	22	22	23	23	22	22	21	23	22	23
112	11	33	34	33	33	25	26	24	24	24	27	36	37	37	37	23	23	23	24	22	23	21	23	22	24
113	9	33	33	33	33	25	26	25	25	25	28	36	37	37	37	23	23	24	23	23	23	22	24	24	24
114	6	33	34	33	33	25	26	24	25	25	28	37	38	38	38	23	23	24	26	23	23	22	24	23	24
115	4	30	31	30	31	22	23	22	22	22	25	33	34	34	34	20	20	21	23	20	20	19	21	20	22
116	15	36	37	36	37	28	29	27	28	28	31	39	40	40	40	40	27	28	28	26	26	25	27	26	28

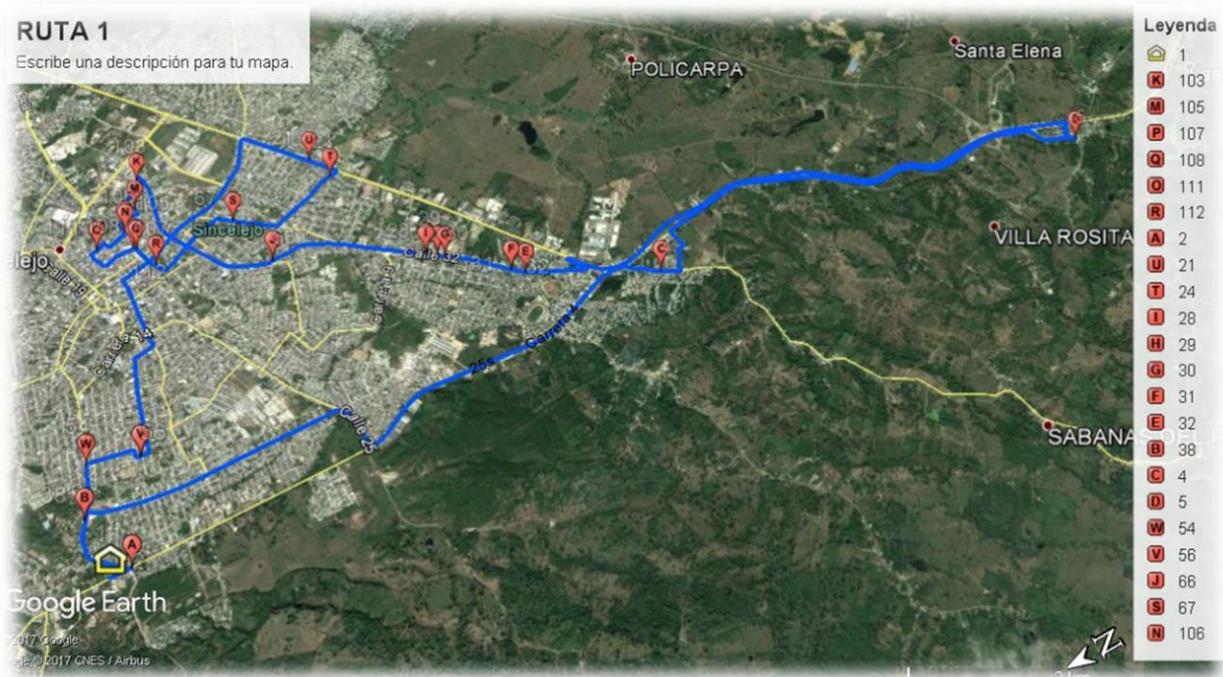
Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 55: Tiempo de recorrido entre clientes en minutos (parte 20)

	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
91	7	21	18	20	19	20	24	20	21	21	21	21	24	25	23	29
92	8	21	18	20	20	20	24	21	21	22	21	22	24	25	24	29
93	7	19	17	18	18	18	22	19	19	20	20	20	23	23	22	28
94	6	20	16	18	18	18	22	19	20	20	20	20	23	24	22	28
95	5	20	17	19	19	19	22	20	20	21	20	21	23	24	23	28
96	5	21	17	19	18	27	19	20	21	20	21	22	24	24	21	29
97	5	18	15	17	17	17	21	18	18	19	19	19	22	22	20	27
98	5	22	19	21	21	21	25	21	22	23	22	23	25	26	24	29
99	6	18	15	17	17	17	20	18	18	19	18	19	21	22	20	25
100	3	20	17	19	19	19	22	20	20	21	20	21	23	24	23	26
101	0	25	21	23	22	23	27	24	25	25	25	25	28	29	27	29
102	23	0	4	3	3	3	4	4	3	1	4	5	9	5	3	13
103	19	4	0	2	1	2	6	2	3	4	3	4	7	8	6	14
104	22	3	3	0	1	1	3	1	2	3	1	1	5	5	3	12
105	21	4	1	1	0	1	4	2	3	3	2	2	5	6	4	12
106	22	3	3	2	2	0	3	1	2	3	1	2	6	6	4	12
107	22	5	3	3	2	3	0	1	4	4	3	1	6	5	3	12
108	23	5	4	4	4	3	3	0	4	4	3	1	5	5	3	11
109	24	3	3	2	2	2	2	2	0	1	3	6	7	6	4	13
110	23	3	3	1	2	1	5	2	2	0	3	3	7	8	5	14
111	25	3	5	3	4	4	3	3	3	2	0	4	8	6	4	13
112	26	7	7	7	7	6	5	6	7	7	6	0	5	4	6	11
113	26	6	7	5	6	8	7	8	8	9	7	5	0	4	8	7
114	26	5	7	6	5	5	5	6	5	4	5	5	4	0	2	9
115	23	3	5	3	4	3	3	3	3	2	3	5	9	4	0	12
116	29	13	14	14	14	14	13	13	13	13	13	11	7	10	11	0

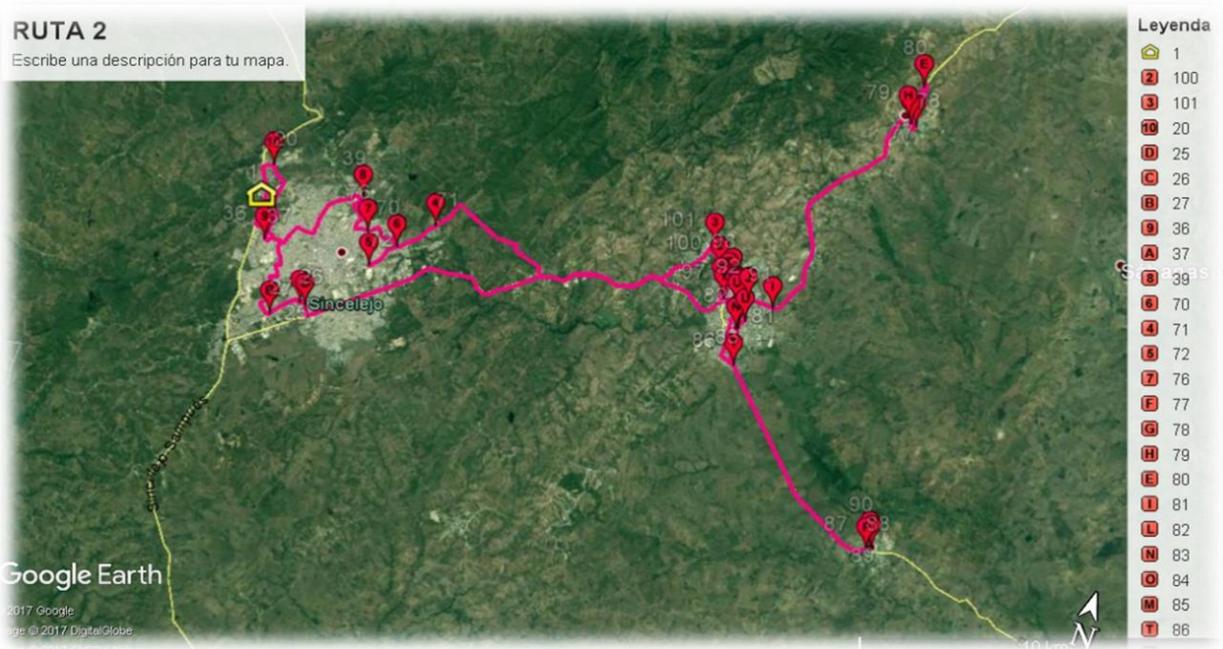
Fuente: Elaboración propia, a partir de Proquimco S.A.S

Anexo 56: Ruta 1 Arrojada por GAMS



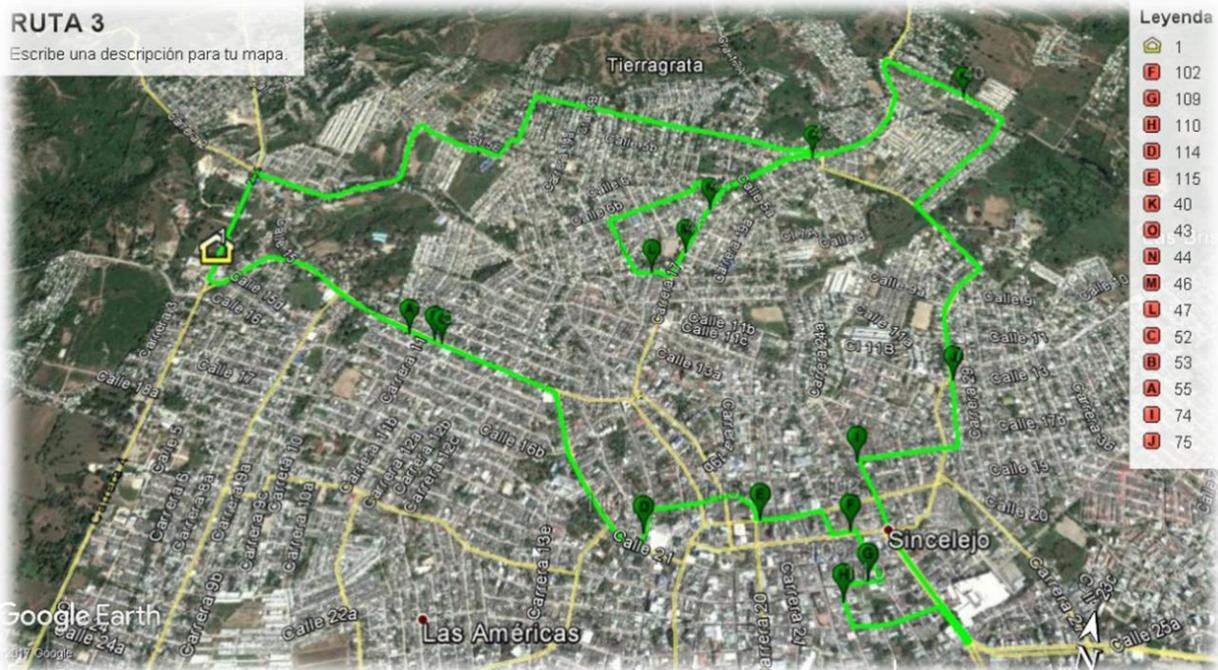
Fuente: Elaboración propia

Anexo 57: Ruta 2 Arrojada por GAMS



Fuente: Elaboración propia

Anexo 58: Ruta 3 Arrojada por GAMS



Fuente: Elaboración propia

Anexo 59: Ruta 4 Arrojada por GAMS



Fuente: Elaboración propia

Anexo 60: Ruta 5 Arrojada por GAMS



Fuente: Elaboración propia