Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Matemáticas
Escuela Profesional de Investigación Operativa

Ruteo de vehículos con capacidades en una empresa de transportes de productos químicos y materiales peligrosos aplicando la heurística de Clarke and Wright

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa

AUTOR

Erika Marilu SUAREZ FLORES

ASESOR

Dr. Carlos ORTEGA MUÑOZ

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Suarez, E. (2021). *Ruteo de vehículos con capacidades en una empresa de transportes de productos químicos y materiales peligrosos aplicando la heurística de Clarke and Wright*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	ERIKA MARILU SUAREZ FLORES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73268982
URL de ORCID	-
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	CARLOS ORTEGA MUÑOZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10196265
URL de ORCID	https://orcid.org/ 0000-0001-8663-4095
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	CARLOS ENRIQUE CALDERÓN RODRÍGUEZ
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09910975
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	FLOR CAGNIY CÁRDENAS MARIÑO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	45422233
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.3.3.5. Aplicaciones de herramientas de IO a la producción de bienes y servicios.

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Coordenadas geográficas Latitud: -12.058333 Longitud: -77.083333
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Octubre de 2021
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL EN LA MODALIDAD VIRTUAL PARA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO(A) EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2021-I)

En Lima, siendo las 11:23 horas del domingo 03 de octubre del 2021, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado del Trabajo de Suficiencia Profesional (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2021-I): Lic. Carlos Enrique Calderon Rodriguez (PRESIDENTE), Mg. Flor Cagniy Cardenas Mariño (MIEMBRO) y el Dr. Carlos Ortega Muñoz (MIEMBRO ASESOR), para la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional titulado: "**RUTEO DE VEHÍCULOS CON CAPACIDADES EN UNA EMPRESA DE TRANSPORTES DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y MATERIALES PELIGROSOS APLICANDO LA HEURÍSTICA DE CLARKE AND WRIGHT**", presentado por la señorita **Bachiller Erika Marilu Suarez Flores**, para optar el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa.

Luego de la exposición del trabajo de suficiencia, el Presidente invitó a la expositora a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los miembros del Jurado Evaluador, la expositora mereció la aprobación **Bueno,** con un calificativo promedio de **15**.

A continuación, los miembros del Jurado dan manifiesto que la participante **Bachiller Erika Marilú Suárez Flores** ha aprobado el Trabajo de Suficiencia Profesional.

Siendo las 11:45 horas se levantó la sesión firmando para constancia la presente Acta.

Lic. Carlos Enrique Calderon Rodriguez
PRESIDENTE

Mg. Flor Cagniy Cardenas Mariño
MIEMBRO

Dr. Carlos Ortega Muñoz
MIEMBRO ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA

INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

La Directora de la Escuela Profesional de Investigación Operativa, Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino, informa lo siguiente:

1. Operador del programa informático de similitudes: Mg. Paulo César Olivares Taipe

Documento evaluado: Ruteo de vehículos con Capacidades en una empresa de Transportes de productos químicos y materiales peligrosos aplicando la heurística de Clarke and Wright

2. Autor de la tesis: SUAREZ FLORES ERIKA MARILU
3. Fecha de recepción de la tesis: 30 de octubre 2021
4. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes: 31 de octubre 2021
   - Software utilizado: Turnitin
5. Configuración del programa detector de similitudes:
   - Excluye textos entrecomillados
   - Excluye bibliografía
   - Excluye cadenas menores a 40 palabras
6. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes: 3%
7. Fuentes originales de las similitudes encontradas:
   Fuentes de internet:3%
   Publicaciones: 1%
   Trabajos de estudiantes:0%
8. Calificación de originalidad:
   - El documento mencionado cumple criterios de originalidad, sin observaciones.

Lima, 8 noviembre del 2021

UNMSM

Firmado digitalmente por VELASQUEZ PINO Carmela Catalina FAU 20148092282 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 07.11.2021 14:53:41 -05:00

Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino
Directora

FICHA CATALOGRÁFICA

ERIKA MARILU SUAREZ FLORES

RUTEO DE VEHÍCULOS CON CAPACIDADES EN UNA EMPRESA DE TRANSPORTES DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y MATERIALES PELIGROSOS APLICANDO LA HEURÍSTICA DE CLARKE AND WRIGHT

Lima 2021.

Vi, 5 p., 45 p. 29.7 cm (UNMSM, Licenciada, Investigación Operativa, 2021).

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Facultad de Ciencias Matemáticas

Escuela Profesional de Investigación Operativa

UNMSM / FCM

Dedico este trabajo con todo mi corazón a mis queridos padres, quienes con gran esfuerzo me brindaron una carrera y su apoyo incondicional en todo momento, formando en mí, las bases de la responsabilidad y el deseo de superación.
También se lo dedico a mi amado hijo quien ha sido mi mayor motivación e inspiración para poder superarme cada día y luchar por conseguir mis anhelados sueños.

RESUMEN

RUTEO DE VEHÍCULOS CON CAPACIDADES EN UNA EMPRESA DE TRANSPORTES DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y MATERIALES PELIGROSOS APLICANDO LA HEURÍSTICA DE CLARKE AND WRIGHT

ERIKA MARILU SUAREZ FLORES

OCTUBRE 2021

Título obtenido : Licenciada en Investigación Operativa

En el presente trabajo se estudia el problema de ruteo de vehículos con capacidades en una empresa que ofrece servicios de transportes donde el objetivo es optimizar las rutas, disminuir los costos y reducir el tiempo que lleva elaborar la planificación. Al realizar una revisión de los problemas de ruteo de vehículos, se optó por emplear el método Clarke and Wrigth mediante la implantación del software VRP Solver que precisamente utiliza esta heurística.

Para la ejecución del programa se tomaron como datos de entrada como la ubicación de los clientes, la carga a transportar y las capacidades de los vehículos; teniendo por resultado la obtención de rutas óptimas, una disminución en un 5% la distancia total y un mejor aprovechamiento de las capacidades de los vehículos para el caso estudiado.

Palabras clave: Métodos Heurísticos, Clarke and Wright, Algoritmo.

ABSTRACT

ROUTING OF VEHICLES WITH CAPACITIES IN A TRANSPORTATION COMPANY OF CHEMICAL PRODUCTS AND DANGEROUS MATERIALS APPLYING THE CLARKE AND WRIGHT HEURISTICS



ERIKA MARILU SUAREZ FLORES

OCTOBER 2021

Graduate : Operations Reseach

In this paper, the problem of routing vehicles with capabilities is studied in a company that offers transport services where the objective is to optimize routes, reduce costs and reduce the time it takes to prepare the planning. When conducting a review of the vehicle routing problems, it was decided to use the Clarke and Wright method by implementing the VRP Solver software that precisely uses this heuristic. For the execution of the program, the input data were the location of the clients, the load to be transported and the capacities of the vehicles; resulting in obtaining optimal routes, a 5% decrease in total distance and a better use of vehicle capabilities for the case studied.

Keywords: Heuristic Methods, Clarke and Wright, Algorithm.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN 1

II. INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD 2

2.1 Misión 2

2.2 Visión 2

2.3 Estructura del sistema 3

2.4 Análisis Situacional 3

2.5 Procesos operativos 5

III. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 10

3.1 Situación Problemática 10

3.2 Objetivos 11

3.3 Método 11

3.3.1 Instrumentos de recolección de datos 12

3.3.2 Análisis de la información 13

3.3.3 Formulación del modelo con el método Clarke and Wright 26

3.3.4 Aplicación del Método Clarke and Wright 27

3.3.5 Análisis de los resultados obtenidos 39

IV. CONCLUSIONES 40

V. RECOMENDACIONES 41

VI. BIBLIOGRAFÍA 42

VII. ANEXOS 44

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más frecuentes en las empresas es el transporte de sus productos, para ello es necesario contar con un modelo de entrega de mercadería. El ruteo de vehículos consiste en que se tiene un conjunto de clientes y depósitos, en el cual se debe de satisfacer las demandas, encontrando rutas de costo mínimo cumpliendo con las restricciones indicadas.

En base a esta problemática se encuentran diferentes métodos de resolución tomando en consideración las restricciones para cada situación y eligiendo el modelo que mejor se adecue a ello.

En esta investigación se va analizar un caso en particular en una empresa que brinda servicios de transporte de productos químicos y materiales peligrosos; que cuenta con una flota de diferentes capacidades, donde la planificación de las rutas aún se lleva a cabo de forma empírica y manual, lo que implica que se requieran más gastos en la operación y el uso inadecuado de los vehículos.

Considerando las variables y restricciones para este caso se desea implementar el método heurístico basado en el modelo de ruteo Clarke and Wright, mediante un software que nos permita encontrar rutas óptimas y la mejor utilización de la capacidad de los vehículos que son los objetivos principales que se pretenden llegar a alcanzar en este estudio.

Se realizó una recolección de información de todas las áreas tanto administrativas como operativas para obtener todos los datos necesarios para la elaboración del modelo matemático y de esta manera obtener resultados del método aplicado.

Finalmente se presenta las conclusiones de la investigación realizada y se propone algunas recomendaciones.

II. INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

La empresa en estudio es Transportes Durand y Durand S.A.C. La cual se encuentra especializada en el transporte de productos líquidos derivados del petróleo, materiales peligrosos, químicos fiscalizados, metanol, alcohol etílico, entre otros y que realizan sus operaciones a nivel nacional; está ubicada en la Av. 12 de octubre Mza. A-2 Lote 5 Urb. Las Delicias de Villa zona 2 - Chorrillos Brinda servicios a empresas reconocidas; sin embargo; en esta investigación, vamos a tomar en cuenta uno de sus clientes.

Para atender los servicios de este cliente se cuenta con la disponibilidad de 5 camiones que van a realizar las entregas de los productos en todo Lima Metropolitana. Se tiene un solo depósito que se ubica en el Callao donde las unidades inician y finalizan sus operaciones.

El procedimiento de ruteo que vienen realizando es de forma manual por los conductores basados en su experiencia a través de los años.

2.1 Misión

Brindar servicios adaptados a las necesidades reales de nuestros clientes. Con el fin de solucionar cualquier requerimiento que le pueda surgir, disponiendo de personal especializado y una gama de vehículos de distintas características, para que sus productos viajen seguros a su lugar de destino.

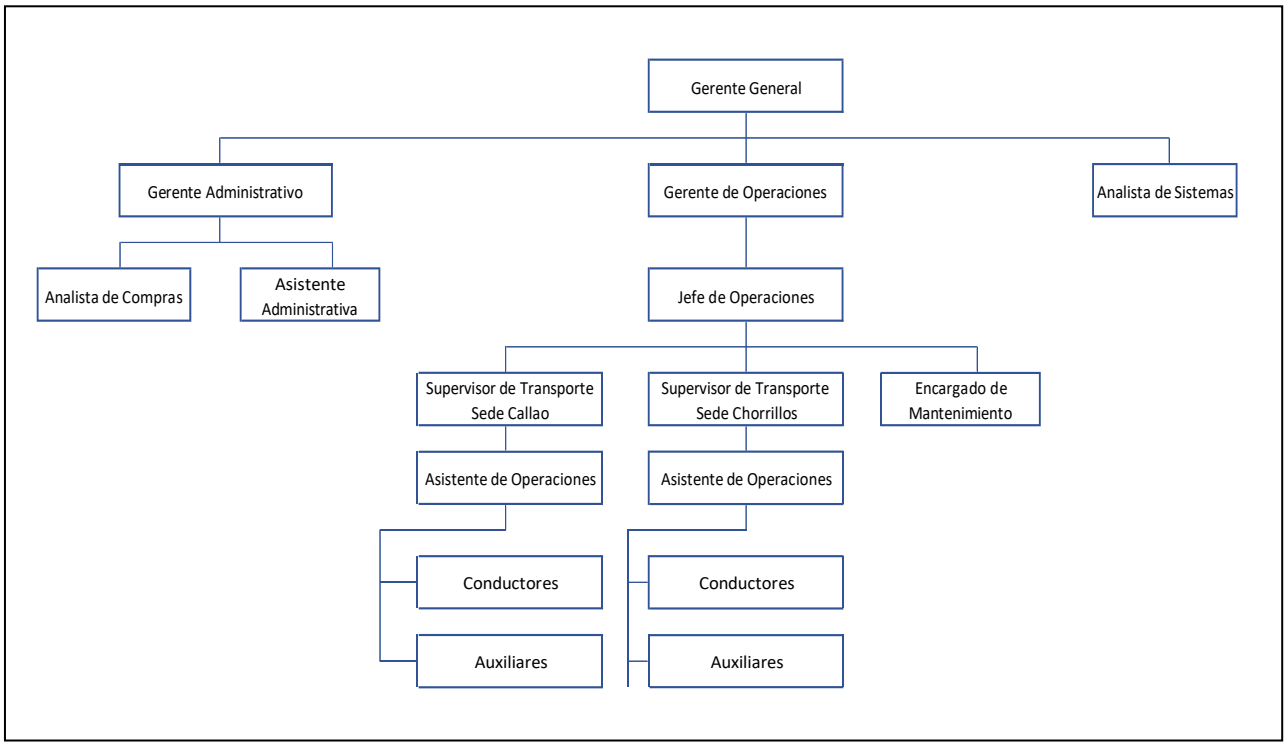
2.2 Visión

Ser la empresa de logística con la mejor capacidad técnica, tecnológica y humana que brinde los servicios que requiere el cliente para su desarrollo contribuyendo al bienestar de la sociedad y medio ambiente.

2.3 Estructura del sistema

La empresa está constituida de la siguiente manera cómo podemos observar en la siguiente ilustración.

Ilustración 1: Organigrama de la empresa



Fuente: Elaboración propia

2.4 Análisis Situacional

Fortalezas

- Cuenta con personal que tiene experiencia y conocimientos de rutas y además de ello están capacitados y certificados en el manejo de materiales peligrosos.
- Las unidades tienen toda la documentación en regla, ya que se tienen los permisos requeridos por el ministerio de transporte y telecomunicaciones
- La empresa cuenta con las siguientes autorizaciones mencionadas a continuación:

- Licencia de funcionamiento para el servicio de transporte de carga otorgado por la municipalidad de chorrillos.
- Inscrita en el registro nacional de empresas de transporte de mercancía general otorgado por el ministerio de transportes (MTC).
- Inscrita en el registro nacional de empresas de transporte de materiales peligrosos (MATPEL) otorgado por el (MTC).
- Autorizado para el transporte de mercancía general por las vías restringidas de lima.
- Está homologada por bureau veritas.

Oportunidades

- Ampliar la cartera de clientes que soliciten servicios de transporte tanto de mercancía general como de materiales peligrosos.
- Administrar mejor las unidades de la empresa

Debilidades

- Falta de contar con un método para realizar la programación y poder encontrar rutas óptimas que permitan reducir el costo utilizado en la operación.
- Poca comunicación entre las áreas implicadas para realizar de forma eficiente el servicio a los clientes.

Amenazas

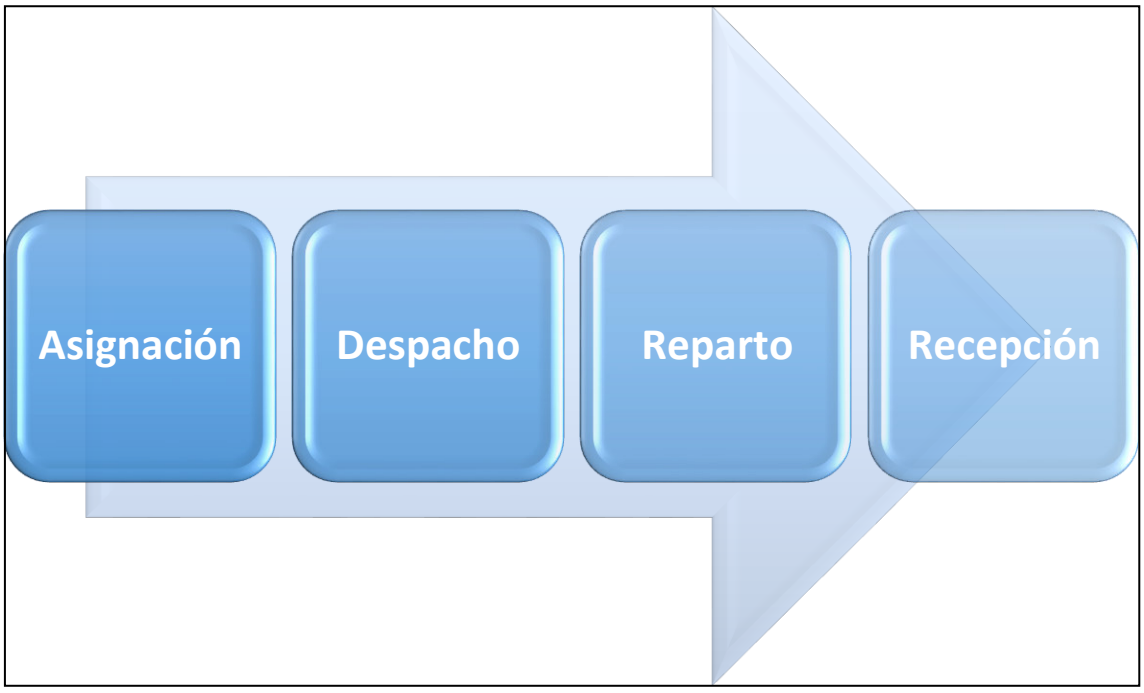
- La alta competitividad que existe actualmente en el rubro del transporte de mercancía general y materiales peligrosos.
- Nuevo ingreso de competidores.
- El incremento de las sanciones o multas en el transporte.

2.5 Procesos operativos

En base al levantamiento de información realizado en las operaciones del sistema, se logró identificar los siguientes procesos operativos.

- **Asignación:** Se asignan las rutas a las unidades de acuerdo a las capacidades que cada unidad puede transportar, cumpliendo con la cantidad demandada en el día.
- **Despacho:** Se realiza el proceso de carga de las unidades en base a las hojas de ruta ejecutadas un día anterior a la operación.
- **Reparto:** Es el proceso de realizar la correcta entrega de los productos a los clientes.
- **Recepción:** Aquí se verifica que toda la documentación esté completa y correcta para la posterior entrega de los cargos correspondientes a nuestro cliente al cual le brindamos el servicio.

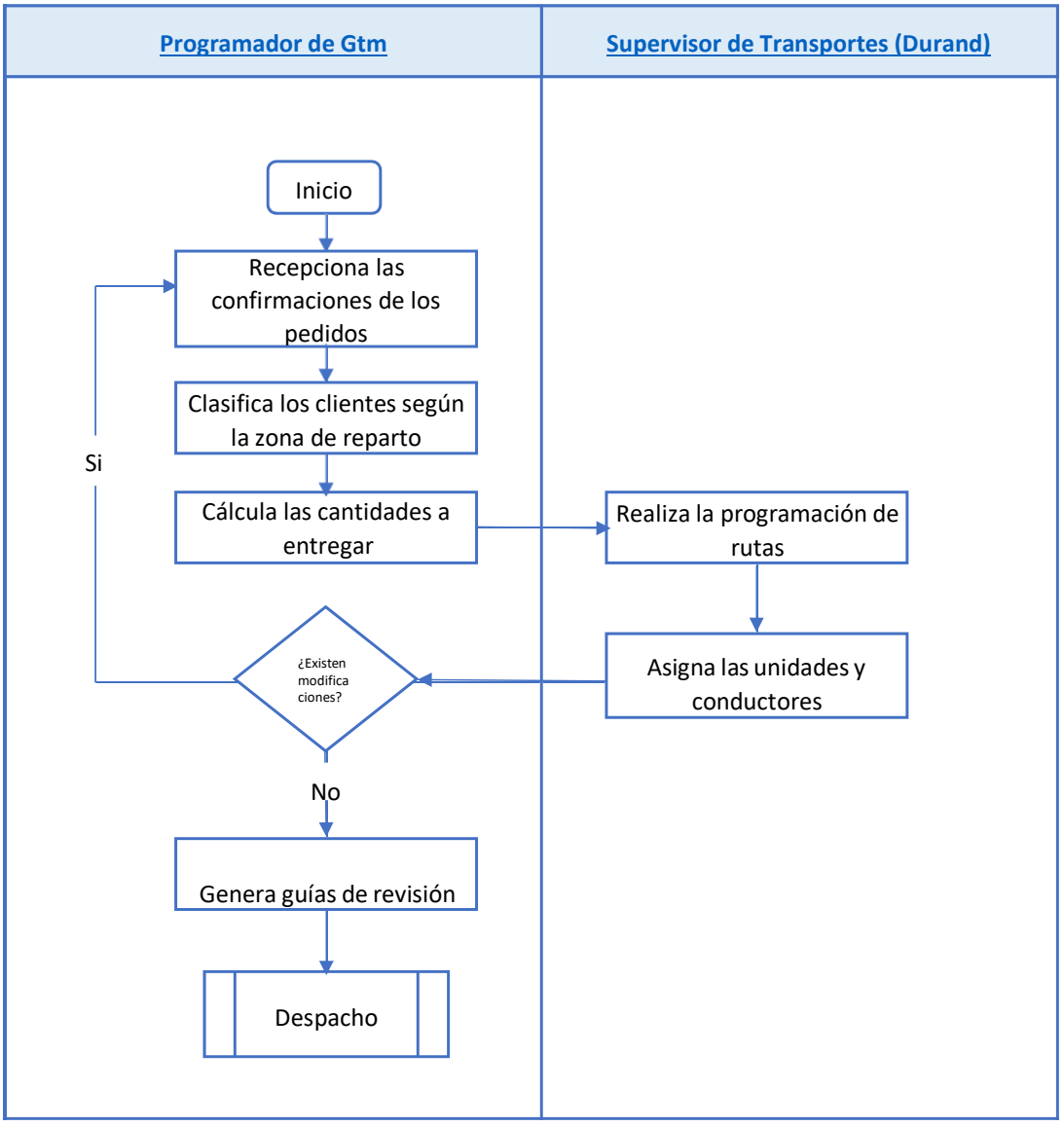
Ilustración 2: Procesos Operativos



Fuente: Elaboración propia

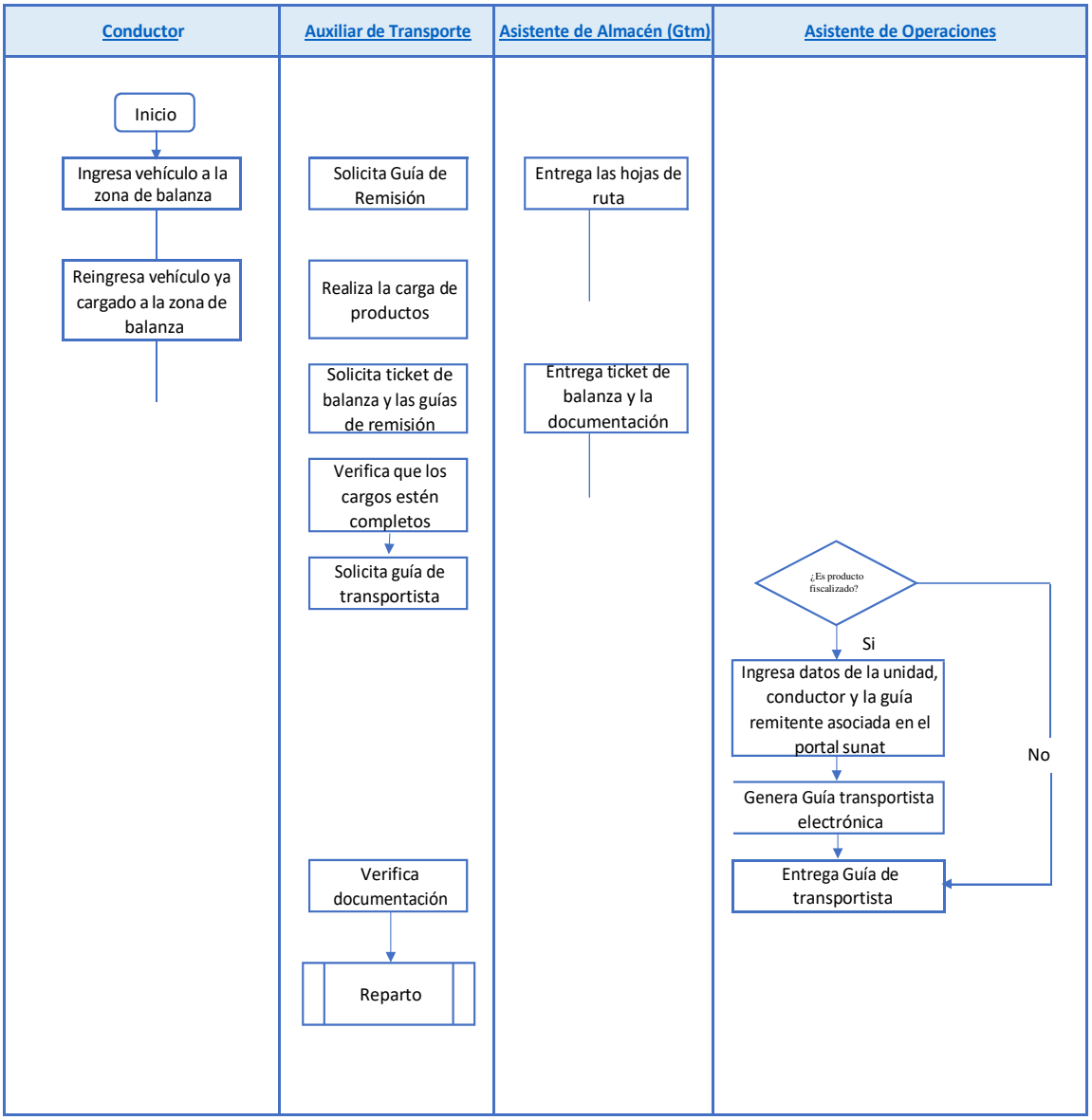
Para mayor entendimiento explicaremos a detalle cómo se realiza cada proceso operativo a través de los siguientes flujogramas.

Ilustración 3: Flujograma del proceso de Asignación



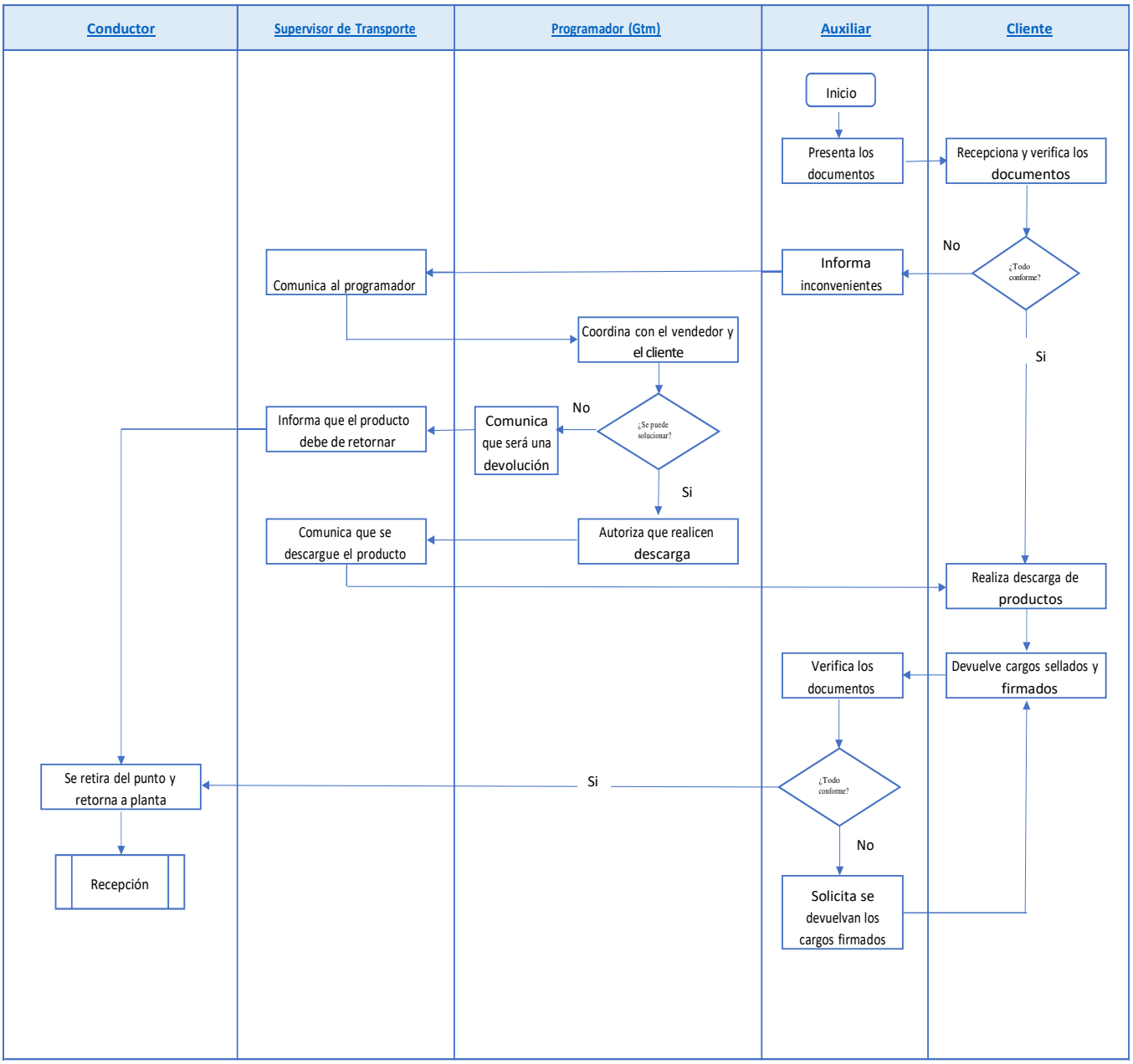
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4: Flujograma del proceso de Despacho



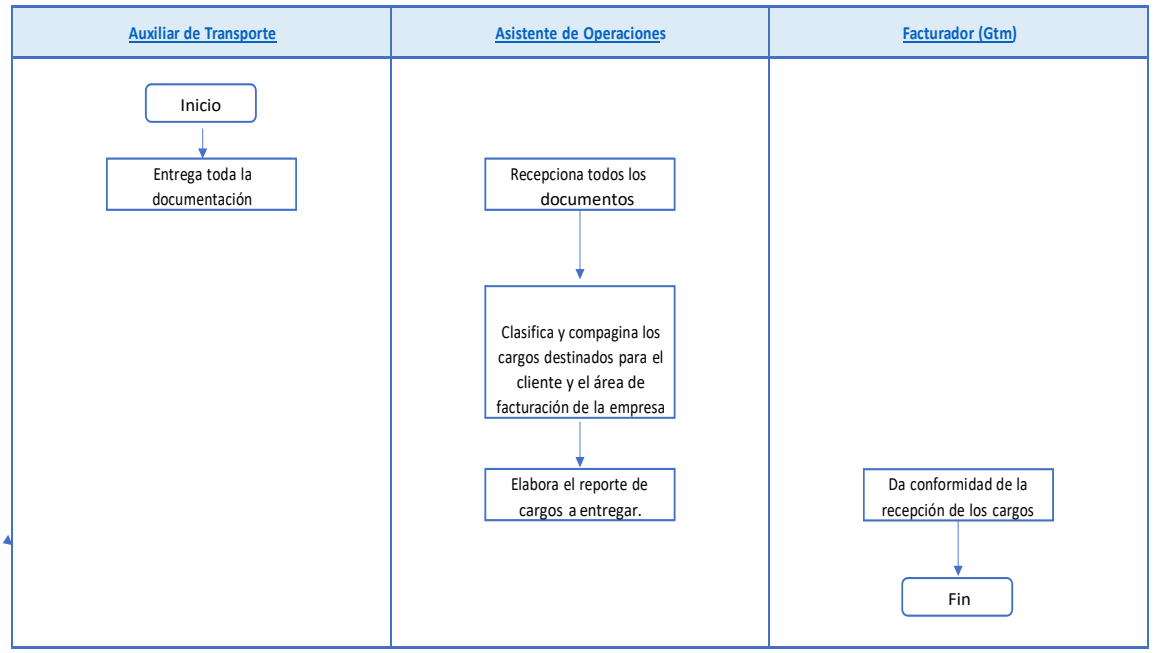
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5: Flujograma del proceso de Reparto



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6: Flujo grama del proceso de Recepción



Fuente: Elaboración propia

III. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1 Situación Problemática

En la actualidad la logística de transportes se encuentra en un proceso de cambio respecto a cómo se manejaban hace algunos años atrás, dándose a notar una serie de problemas de distribución que se han vuelto los más comunes en el rubro; principalmente por el uso de la tecnología, así como las diferentes estrategias de las empresas para lograr la satisfacción de la exigente demanda de sus consumidores, sumado a ello un aumento en las compras vía online, debido a la pandemia por la covid- 19. Esta situación hace que se planteen nuevos retos y desafíos dentro de las organizaciones para resolver los servicios de entrega y despacho de sus productos.

Según Kotler (1991) indica que los principales elementos de los costos de la distribución física son el transporte (37%), el control de existencias (22%), el almacenamiento (21%) y otros como la recepción de órdenes, el servicio al cliente, la distribución y la administración (20%).

Es por ello que para contar con una buena planificación y gestión de distribución se tiene que exigir la utilización de técnicas que optimicen las rutas ya que no solo afecta las operaciones, sino que también influye en las estrategias de la empresa; como el tamaño de flota, estimación de costos, entre otros.

3.2 Objetivos

3.2.1 Objetivo principal

Determinar rutas óptimas mediante un método heurístico para reducir los costos de operación y lograr una mejor utilización de las existencias.

3.2.2 Objetivos específicos

- Determinar los elementos que conforman el modelo de ruteo de vehículos
- Formular un modelo de distribución que permita encontrar rutas óptimas.
- Reducción en los costos de la operación de transporte.
- Equilibrar la carga de trabajo para los colaboradores de la empresa.

3.3 Método

En la presente investigación el método a aplicar es una heurística porque a diferencia de los métodos exactos, estos presentan algoritmos más sencillos de comprender y codificar; sin embargo; las soluciones obtenidas no siempre son las óptimas, pero si nos brinda un resultado más cercano al óptimo.

En base a lo expuesto, el modelo de ruteo adecuado para implementar en este estudio es la heurística de Clarke and Wright.

Para realizar el estudio se implementó la siguiente metodología:

1. Recopilación de datos del sistema en estudio.
2. Análisis de la información recolectada para determinar el cálculo de las coordenadas geográficas, distancias, estimación de costos.
3. Construcción del modelo utilizando el Método de Clarke and Wright para el ruteo de vehículos.
4. Aplicación del algoritmo.

5. Análisis de los resultados con los reportes del software

3.3.1 Instrumentos de recolección de datos.

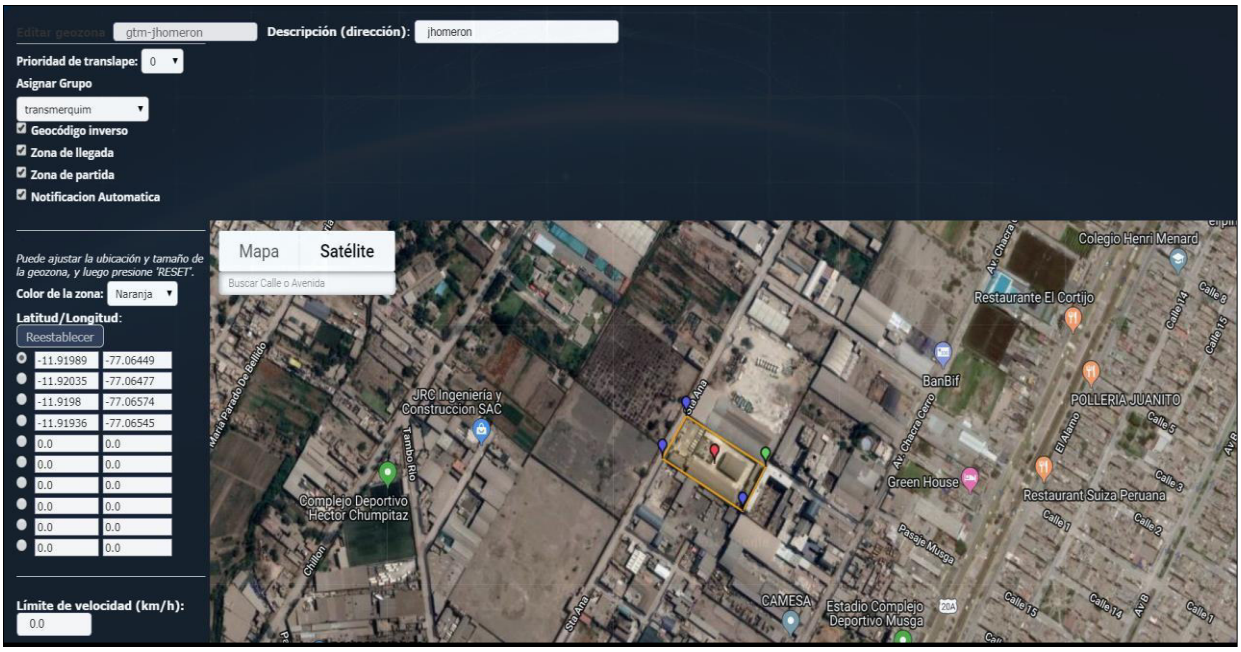
- **Base de Datos**

La empresa cuenta con una base de datos a la cual podemos acceder previa autorización. Aquí podemos obtener información de los clientes tales como: direcciones, teléfonos, productos entregados, tiempo de entrega, frecuencia de pedido, entre otros; que en lo posterior nos será útil para realizar un análisis y establecer indicadores que nos permita tener un mayor control de la operación.

- **Sistema de Rastreo Satelital**

Esta herramienta nos ayuda a poder identificar las coordenadas geográficas de los clientes, la cual funciona de la siguiente manera: Cuando la unidad se ubica en el lugar de entrega, nos permite grabar la ubicación y poder enmarcar el área de entrega, a la cual se le denomina geozona. También podemos calcular mediante este sistema la distancia recorrida por el vehículo al finalizar la operación. Por ello podemos clasificarla dentro de una fuente de tipo primaria.

Ilustración 7: Delimitación del área de entrega.



Fuente: Rastreo GPS-Seguimiento en tiempo real- Geoozone S.A.C.

- **Entrevistas**

La siguiente herramienta consiste en hacer un levantamiento de información para tener un mejor panorama de cómo se desarrollan los procesos operativos y encontrar que falencias se encuentran dentro de estos.

- **Google Maps**

Para los puntos de entrega que no se encuentren registrados en el sistema satelital de la empresa optaremos por usar este instrumento que también nos permitirá ubicar las coordenadas, medir las distancias y áreas.

3.3.2 Análisis de la información

- **Localización de las coordenadas geográficas de los clientes.**

Las ubicaciones de los puntos de entrega se obtuvieron solicitando un permiso al acceso de la base de datos, de la cual para fines de implementación del algoritmo se considerará un total de 85 clientes distribuidos geográficamente en todo Lima Metropolitana, que son divididos en 7 zonas como podemos observar en la tabla 2. Sin embargo, como no todos los lugares se encontraban registrados en el sistema satelital de la empresa, se procedió a usar la herramienta de Google Maps. Teniendo como resultado la siguiente información a continuación.

Tabla 1: Zonas de Reparto

ZONA	DISTRITOS
NORTE I	COMAS
	INDEPENDENCIA
	LOS OLIVOS
	SAN MARTIN DE PORRES
NORTE II	PUENTE PIEDRA
	CARABAYLLO
CENTRO	ATE
	EL AGUSTINO
	LA MOLINA
	LA VICTORIA
	SAN JUAN DE LURIGANCHO
	SAN LUIS
	SANTA ANITA
	JICAMARCA
SUR I	CHORRILLOS
	SAN JUAN DE MIRAFLORES
	SURQUILLO
	VILLA MARIA DEL TRIUNFO
SUR II	LURIN
VENTANILLA	VENTANILLA
	PACHACUTEC
CALLAO - LIMA	CALLAO
	LIMA

Fuente Elaboración Propia

Tabla 2: Ubicación de los clientes en la Zona Norte I

Nodo	Emp. Destino	Destino	Direccion	Latitud	Longitud
1	CHEMICAL MINING S A	COMAS	AV. CHILLON MZ. A LOTE. 93 FND. EX FUNDO CHACRA CERRO - COMAS - LIMA	-11.90984	-77.06259
2	HAC COMERCIO Y MANUFACTURA S.A	COMAS	AV. CHACRACERRO NRO LOTE 41B COMAS	-11.92157	-77.06399
3	INDUSTRIAS JHOMERON S.A.	COMAS	CAL.SANTA ANA MZA. F LOTE. 44 FND. CHACRA CERRO (ALTURA DEL CANTOLAO- COLEGIO NOGUS HI) LIMA - C	-11.92141	-77.06672
4	INDUSTRIAS NUÑEZ S.A.C.	COMAS	SUB LOT 1 - B MZA .D LOTE LAS GARDENIAS (PARADERO OFICINA) - COMAS	-11.89552	-77.05339
5	SOLVENTES CARLOS E.I.R.L	COMAS	AV. CHILLON MZA. G LOTE. 09 EX FUNDO CHACRA CERRO (SUB. LOTE DES PALDA REVISIONES TECNICAS) COM	-11.92084	-77.06997
6	SOLVENTES Y PINTURAS DEL PERU S.A.C.	COMAS	AV. CHILLON LOTE 19 INT. 5 A FND CHILLON COMAS	-11.92044	-77.06984
7	KARLAN S.A.C.	INDEPENDENCIA	CAL.SINCHIROCA NRO. 163 URB. POP TAHUANTINSUYO - INDEPENDENCIA	-11.98568	-77.05619
8	VIPLASTIC PERU S.A.	INDEPENDENCIA	JR.ISIDRO BONIFAZ NRO 385 Z.IP ANAMERICANA NORTE INDEPENDENCIA LIMA	-12.00045	-77.05881
9	CHEM TOOLS SAC	LOS OLIVOS	LOS PLATINOS 220 URB. INDUSTRIAL INFANTAS LOS OLIVOS LIMA	-11.96996	-77.06484
10	CHEM TOOLS SAC	LOS OLIVOS	JR. NEON NRO 5645 URB. IND. INFANTAS LOS OLIVOS	-11.96809	-77.06564
11	FARMAGRO S.A	LOS OLIVOS	AV. ALFREDO MENDIOLA # 6068 LOS OLIVOS	-11.95870	-77.06795
12	INDUSTRIAS DERIVADOS DEL ALCOHOL S	LOS OLIVOS	CAL. LOS MARTILLOS NRO 5033 URB. INDUS T. EL NARANJAL LOS OLIVOS	-11.97588	-77.06166
13	INVERSIONES VELFER S.A.C.	LOS OLIVOS	CALLE SAN RODOLFO 6244 INTERIOR 04 URB. SANTA LUIS A LOS OLIVOS LIMA	-11.95635	-77.07235
14	CHEMICAL RUBBER COMPANY S.A.C.	SAN MARTIN DE PORRES	JR. LAS EMPRESAS NRO. 146 URB. PRO - SMP	-11.93613	-77.06944
15	CORPORACION CRONS PERU S.A.C.	SAN MARTIN DE PORRES	MZA. E6 LOTE 14 A URB. PRO INDUSTRIAL 6 TO SECTOR LIMA- SAN MARTIN DE PORRES	-11.93140	-77.06957
16	INDUSTRIAS LA MILLA S.A.C.	SAN MARTIN DE PORRES	CAL.LA MILLA NRO. 215 URB. INDUSTRIAL LA MILLA SAN MARTIN DE PORRES LIMA	-12.01545	-77.06559
17	QUIMEX S.A	SAN MARTIN DE PORRES	CALL EL ENGRANAJE N° 116 URB LA MILLA SAN MARTIN DE PORRES	-12.01381	-77.06281
18	SERVICIOS Y ESTRATEGIA ECOLOGICA EI	SAN MARTIN DE PORRES	CALLE C MZ D LOTE 16 FDN LA MILLA SAN MARTIN DE PORRES	-12.01476	-77.06564

Fuente Elaboración Propia

Tabla 3: Ubicación de los clientes en la Zona Norte II

Nodo	Emp. Destino	Destino	Direccion	Latitud	Longitud
19	**ASESORES Y ABASTECEDORES E.I.R.L.**	CARABAYLLO	CAL.LOS AMARANTOS NRO. 184- 186 URB. SANTA ISABEL (ALT. MERCADO SANTA ISABEL) LIMA - CARABAYLLO	-11.89914	-77.03545
20	**PINTURAS FORMEQUIMICA S.A.C.**	CARABAYLLO	PARCELA 29 SECTOR G NRO. . ASC. PRO.VIV.LOS SUYOS PROG EL REPOSO (AV.CAMINO REAL ALTURA PUEN	-11.86278	-77.03196
21	**SOLVENTES Y PINTURAS DEL PERU S.A.C.**	CARABAYLLO	CALLE LAPIZLAZUL MZ D LT 12 CP LAS PIEDRITAS - CARABAYLLO	-11.81726	-77.07836
22	**FABRICACIONES WAYRA S.A.C**	PUENTE PIEDRA	AV. SAN JUAN MZ G LT 8 C1 URB. LAS VEGAS PUENTE PIEDRA	-11.86376	-77.06656
23	**FARMEX S A**	PUENTE PIEDRA	AV SANTA JOSEFINA NRO 467 URB LAS VEGAS PUENTE PIEDRA - LIMA	-11.86755	-77.06946
24	**INDUSQUIMICA DEL PERU S.A.C.**	PUENTE PIEDRA	CAL.S/N MZA. S LOTE. 6 URB. ARENALES VALLE HERMOSO PUENTE PIEDRA LIMA	-11.82152	-77.10684
25	**RESINAS Y QUIMICOS S.A.C**	PUENTE PIEDRA	CAL. CINCO MZ. C LOTE 13B URB. LAS VEGAS PUENTE PIEDRA	-11.85918	-77.06662

Fuente Elaboración Propia

Tabla 4: Ubicación de los clientes en la Zona Ventanilla

Nodo	Emp. Destino	Destino	Direccion	Latitud	Longitud
26	**MACRO QUIMICA DEL PERU S.A.C.**	VENTANILLA	MZA. E- 12 LOTE. 10 PARQ.IND.CIUDAD PACHACUTEC (PROLG.N.GAMBETA PUENTE PEATONAL HUAURA)PROV.	-11.85668	-77.13062
27	**RESINAS & ACABADOS S.A.C.**	PACHACUTEC VENTANILLA	MZ E1LOT 3 ZONA INDUSTRIAL 1- PACHACUTEC	-11.86003	-77.14035

Fuente Elaboración Propia

Tabla 5: Ubicación de los clientes en la Zona Centro

Nodo	Emp. Destino	Destino	Direccion	Latitud	Longitud
28	**INSUMEX S.A.**	ATE	AV. SAN JUAN MZ B LOTE 12 URB. SANTA MARTHA CARRETERA CENTRAL KM 6.5 ATE	-12.02615	-76.93602
29	**PISO PAK PERU S.A.C**	ATE	AV. NICOLAS AYLLON 3898 ATE	-12.04791	-76.94814
30	**POLI SHOES S.A.C.**	ATE	CALLE SANTA LUCIA 285 URB. IND. LA AURORA ATE	-12.06677	-76.98061
31	**RESINPLAST S.A.**	ATE	AV. LUIS GALVANIMZA. K LOTE. 18 IND.SANTA ROSA (CDRA 1 DE AV.BENJAMIN FRANKLIN) ATE- LIMA	-12.06486	-76.97658
32	**CORPORACION PERUANA DE PRODUCTO**	CHACLACAYO	AV UNION NRO 107 - 109 ALTURA DE LA CARR. CENTRAL KM. 18 CHACLACAYO - LIMA - LIMA	-11.99289	-76.82833
33	**CORPORACION PERUANA DE PRODUCTO**	EL AGUSTINO	AV. FERROCARRIL Nº 2052 Z.I. EL AGUSTINO - LIMA	-12.03941	-76.98718
34	**MONTANA S.A.**	EL AGUSTINO	AV. NICOLAS AYLLON NRO. 2925 LIMA - LIMA - EL AGUSTINO	-12.05936	-76.97607
35	**JYRMEZE S.A.C**	LA VICTORIA	JAIME BAUZATE Y MEZA NRO 948 LA VICTORIA	-12.06375	-77.02203
36	**LAPICES Y CONEXOS S.A. (LAYCONSA)**	LA VICTORIA	AV. BAUZATE Y MEZA N° 556 LA VICTORIA	-12.06443	-77.02710
37	**TINTAS Y BARNICES E.I.R.L**	LA VICTORIA	JR, FRANCISCO LUNA PIZARRO 499 LA VICTORIA EXPRESO MARVISUR	-12.06426	-77.02759
38	**FLINT GROUP PERU S.A.**	SAN JUAN DE LURIGANCHO	AV. LOS TUSILAGOS ESTE 400 (ZONA INDUSTRIAL URB. LAS FLORES)SAN JUAN DE LURIGANCHO - LIMA	-12.01139	-76.99801
39	**LA VARESINA S.A**	SAN JUAN DE LURIGANCHO	AV. EL SANTUARIO NRO 1101 ZIZARATE SAN JUAN DE LURIGANCHO	-12.01930	-76.99532
40	**CHEMIFABRIK PERU S.A.C.**	SANTA ANITA	CAL. GILBERTO ESPINOZA NRO 120 URB LOS FICUS - SANTA ANITA LIMA	-12.05539	-76.97338
41	**FRUTAROM PERU S.A**	SANTA ANITA	AV. LA COLECTORA NRO 140 SANTA ANITA	-12.05011	-76.95653

Fuente Elaboración Propia

Tabla 6: Ubicación de los clientes en la Zona Sur I

Nodo	Emp. Destino	Destino	Direccion	Latitud	Longitud
42	**INTRADEVCO INDUSTRIAL S.A**	CHORRILLOS	AV. PRODUCCION NACIONAL 188 URB. LA VILLA CHORRILLOS	-12.17766	-77.01791
43	**Z ADITIVOS S.A.**	CHORRILLOS	AV. LOS FAISANES 675 URB. PARCELACION SEMIRUSTICA (LA CAMPIÑA)CHORRILLOS - LIMA	-12.17397	-76.99653
44	**ADRIANCANV S.A.C.**	VILLA EL SALVADOR	PARCELA 1 MZ. 10 LOTE 3 PQUE INDUSTRIAL VILLA EL SALVADOR	-12.18943	-76.93997
45	**F Y A REPRESENTACIONES S.A.C.**	VILLA EL SALVADOR	COO. COLONIZACION LAS VERTIENTES MZ J SUB PARCEL - VILLA EL SALVADOR	-12.21918	-76.96704
46	**Z ADITIVOS S.A.**	VILLA EL SALVADOR	COOPERATIVA LAS VERTIENTES MZ.G LOT 1 AV EL SOL REF PASANDO LOS ALMACENES - V.E.S.	-12.21560	-76.96689

Fuente Elaboración Propia

Tabla 7: Ubicación de los clientes en la Zona Sur II

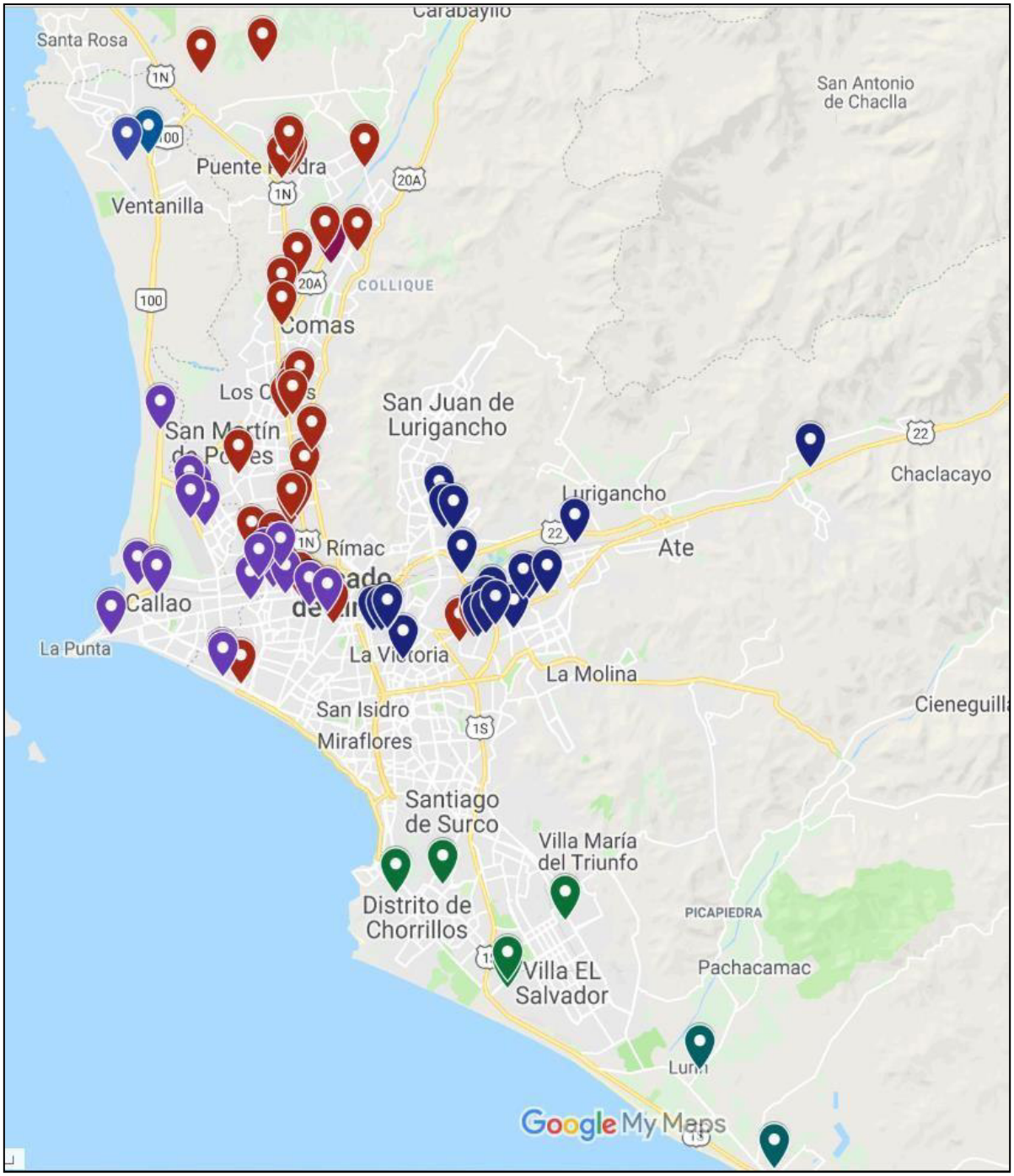
Nodo	Emp. Destino	Destino	Direccion	Latitud	Longitud
47	**CORPORACION MARA**	LURIN	MZA. D LOTE. 10 URB. PARCELACIÓN SEMIRUSTICA LAS PRADERAS DE LURÍN (FRENTE A LA CALLE 3 ALTURA P	-12.29747	-76.84485
48	**GLUCOM S.A.C.**	LURIN	CAL. 3 MZA. Z LOTE 06 HUERTOS DE LURIN LIMA	-12.25463	-76.87871

Fuente Elaboración Propia

Tabla 8: Ubicación de los clientes en la Zona Callao-Lima

Fuente Elaboración Propia

Ilustración 8: Ubicación de los clientes mediante Google Maps



Fuente: Elaboración Propia

- **Elaboración de la matriz de distancias**

La siguiente matriz se va a elaborar con la finalidad de conocer la distancia entre los puntos de entrega, la cual se va a expresar en km.

Siendo d_{ij} la distancia desde el cliente i hacia el cliente j (km)

$$d_{ij} = \begin{pmatrix} d_{11} & \cdots & d_{1;85} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{85;1} & \cdots & d_{85;85} \end{pmatrix}$$

Se debe de tener en cuenta que no necesariamente la distancia d_{ij} es igual a d_{ji} porque las vías de acceso de ida pueden ser distintos al de retorno. Como podemos observar en la siguiente tabla, en su mayoría las distancias son diferentes.

Tabla 9: Distancia entre los 10 primeros puntos de entrega expresados en km

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	1.7	1.6	2.3	1.5	1.5	13.2	11.7	8.9	7.7
2	1.7	-	1.5	3.9	1.9	1.9	11.5	10.0	7.3	6.1
3	1.6	1.5	-	4.3	1.0	1.0	11.5	10.0	8.1	7.0
4	2.3	3.8	4.2	-	4.6	4.5	15.2	13.7	11.0	10.5
5	1.5	1.9	1.0	3.7	-	0.0	11.6	10.1	7.4	7.2
6	1.5	1.9	1.0	3.6	0.0	-	11.7	10.2	7.4	7.2
7	10.5	8.7	7.8	11.6	8.8	8.9	-	2.8	3.0	3.2
8	12.4	10.6	10.6	14.3	10.7	10.8	2.8	-	4.9	5.1
9	8.0	6.2	6.3	9.9	6.3	6.3	3.9	7.0	-	0.3
10	7.8	5.9	5.8	9.7	6.5	6.1	4.4	6.7	0.3	-

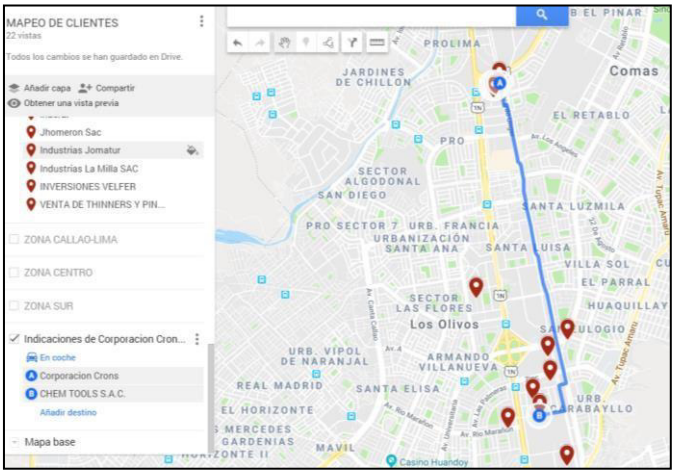
Fuente: Elaboración propia

La matriz que se construirá debe de tener 3306 distancias. La cual podemos visualizar en el Anexo 1.

Para poder obtener las distancias que se observa en la **Tabla 9** se usó el Google Maps de la siguiente manera:

- Se selecciona el punto de partida (A) y el punto de destino (B)

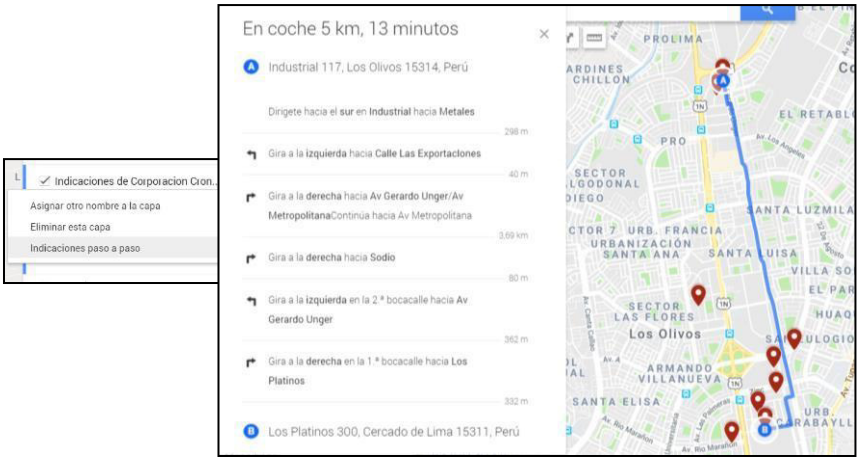
Ilustración 9: Ingresar el punto de partida y destino



Fuente: Elaboración propia mediante el Google Maps

- Buscamos el detalle del recorrido en la opción paso a paso

Ilustración 10: Distancia entre los puntos de entrega



Fuente: Elaboración propia mediante el Google Maps

- **Flota de vehículos**

El sistema en estudio cuenta con una flota de 5 vehículos de exclusividad para cubrir la demanda de los clientes, los cuales son de diferentes capacidades que pueden cargar desde 4 hasta 20 toneladas y cuentan con todos los implementos de seguridad requeridos por el reglamento que regula el transporte de materiales y/o residuos peligrosos. Para mayor detalle a continuación mostramos las características de cada uno de ellos.

Tabla 10: Ficha Técnica de Camión 1

CAMIÓN 1	VOLKSWAGEN
Carrocería	Furgón
Ejes	2
Peso Neto	4995
Carga Útil	5800
Peso Bruto	10795
Largo	8.3
Alto	3.3
Ancho	2.23

Fuente: Sistema de Empresa de Transportes Durand y Durand S.A.C.

Ilustración 11: Camión Volkswagen



Fuente: Sistema de Empresa de Transportes Durand y Durand S.A.C

Tabla 11: Ficha Técnica de Camión 2

CAMIÓN 2	JAC
Carrocería	Furgón
Ejes	2
Peso Neto	3400
Carga Útil	8010
Peso Bruto	11410
Largo	8.46
Alto	3.56
Ancho	2.46

Fuente: Sistema de Empresa de Transportes Durand y Durand S.A.C.

Ilustración 12: Camión Jac



Fuente: Sistema de Empresa de Transportes Durand y Durand S.A.C

Tabla 12: Ficha Técnica de Camión 3

CAMIÓN 3	FORLAND
Carrocería	Furgón
Ejes	2
Peso Neto	5995
Carga Útil	1200
Peso Bruto	17995
Largo	10.15
Alto	3.8
Ancho	2.5

Fuente: Sistema de Empresa de Transportes Durand y Durand S.A.C.

Ilustración 13: Camión Forland



Fuente: Sistema de Empresa de Transportes Durand y Durand S.A.C

Tabla 13: Ficha Técnica de Camión 4

CAMIÓN 4	ISUZU
Carrocería	Furgón
Ejes	3
Peso Neto	4200
Carga Útil	13800
Peso Bruto	18000
Largo	9.15
Alto	3.35
Ancho	2.44

Fuente: Sistema de Empresa de Transportes Durand y Durand S.A.C.

Ilustración 14: Camión Isuzu



Fuente: Sistema de Empresa de Transportes Durand y Durand S.A.C.

Tabla 14: Ficha Técnica de Camión 5

CAMIÓN 5	HINO
Carrocería	Furgón
Ejes	3
Peso Neto	8000
Carga Útil	17000
Peso Bruto	25000
Largo	9.95
Alto	3.74
Ancho	2.46

Fuente: Sistema de Empresa de Transportes Durand y Durand S.A.C.

Ilustración 15: Camión Hino



Fuente: Sistema de Empresa de Transportes Durand y Durand S.A.C.

- **Elaboración de la matriz de costos**

Para el siguiente análisis se tiene que considerar la variable de los costos asociados a la operación de este tipo de actividad. Los que componen los costos de transporte son los costos variables y fijos entre otros. Con la implementación de este modelo de enrutamiento de busca optimizar las distancias, lo cual va a generar un impacto sobre los costos variables ya que estos se encuentran en función de los kilómetros recorridos, por ello es que enfatizaremos nuestro análisis en ese aspecto.

Costos variables

- Combustible
- Neumáticos
- Mantenimientos
- Peajes

Costos Fijos

- Depreciación
- Sueldo del personal del área de operaciones
- Seguro Obligatorio de Accidentes de Tránsito (SOAT)

Según lo mencionado para el estudio, se tomará en cuenta los siguientes costos variables:

- **Costo por consumo de combustible**

  Según las características de los camiones en mención usan el combustible diésel B5, cuyo precio se determinó según lo sugerido por el Ministerio de Energía y Minas del Perú en la actualidad. Mediante la siguiente fórmula se obtendrá el costo de combustible por kilómetro recorrido:

$$Costo\ de\ combustible\ por\ Km = Consumo(\frac{Gal}{Km}) * Precio\ del\ Combustible(\frac{Soles}{Gal})$$

Los resultados se muestran en la siguiente tabla, en la cual se detalla el costo de combustible por kilómetro para cada camión.

Tabla 15: Costo asociado al uso del combustible por km

Camión	Consumo (Gal/Km)	Precio del combustible (Gal)	Kilómetros recorridos por galón	Costo Combustible (Km)
VOLKSWAGEN	0.05	13.60	21	S/.0.68
JAC	0.04	13.60	23	S/.0.54
FORLAND	0.05	13.60	22	S/.0.68
ISUZU	0.04	13.60	24	S/.0.54
HINO	0.04	13.60	24	S/.0.54

Fuente: Elaboración propia

- **Costo por Neumáticos**

  Este costo dependerá de la cantidad de llantas que necesite cada camión, del modelo y la duración de las mismas. En el siguiente cuadro se muestra los costos para cada camión.

Tabla 16: Costo por uso de neumáticos

Camión	Tipo de Neumáticos		Consumo de llantas			
	Medidas	**Cambio por desgaste (Km)**	**Cantidad de Neumáticos**	**Costo de neumáticos (Ud)**	**Costo Total**	**Costo de neumáticos por km**
VOLKSWAGEN	9.5R17.5	30000	6	S/.330.00	S/.1,980.00	S/.0.07
JAC	8.5R20	30000	6	S/.116.00	S/.696.00	S/.0.02
FORLAND	9.0R20	30000	6	S/.449.00	S/.2,694.00	S/.0.09
ISUZU	9.5R17.5	30000	10	S/.266.40	S/.2,664.00	S/.0.09
HINO	11R22.5	30000	10	S/.316.35	S/.3,163.50	S/.0.11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Costo Total por Km

Vehículo	***Costo Combustible (Km)***	***Costo de Neumáticos***	***Costo Total por Km***
VOLKSWAGEN	*S/.0.68*	*S/.0.07*	***S/.0.75***
JAC	*S/.0.54*	*S/.0.02*	***S/.0.56***
FORLAND	*S/.0.68*	*S/.0.09*	***S/.0.77***
ISUZU	*S/.0.54*	*S/.0.09*	***S/.0.63***
HINO	*S/.0.54*	*S/.0.11*	***S/.0.65***

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar el análisis anterior, se procede a calcular la matriz de costos, multiplicando la matriz de distancias con los datos obtenidos en la tabla 17.

$$C_{ij} = Costo\ Total\ por\ Km\ del\ vehículo\ k * \begin{pmatrix} d_{11} & \cdots & d_{1;85} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{85;1} & \cdots & d_{85;85} \end{pmatrix}$$

3.3.3 Formulación del modelo con el método Clarke and Wright

Para el siguiente método denominaremos las variables a utilizar para la resolución de nuestro problema.

$i = nodo\ denominado\ como\ cliente\ inicial \quad \forall\ i = 1,2,3,\dots,n$

$j = nodo\ denominado\ como\ cliente\ final \quad \forall\ j = 1,2,3,\dots,n \quad i \neq j$

$n = cantidad\ de\ nodos$

$D(i,j) \quad matriz\ de\ distancia\ entre\ el\ nodo\ i\ y\ el\ nodo\ j$

$S(i,j) \quad matriz\ de\ ahorros\ entre\ el\ nodo\ i\ y\ el\ nodo\ j$

$R(i) \quad ruta\ a\ la\ que\ pertenece\ el\ nodo\ i$

$R(j) \quad ruta\ a\ la\ que\ pertenece\ el\ nodo\ j$

$O \quad nodo\ inicial\ y\ nodo\ final$

Primer Paso:

Generar n rutas de la forma (0,1,0) $\quad \forall\ i = 1,2,..,n$

Luego crear la matriz de ahorros, usando la siguiente fórmula:

$$S(i,j) = C(i,0) + C(0,j) - C(i,j) \qquad ;\forall i,j = 1,2,\dots,n \quad \text{A } i \neq j$$

Crear una matriz $S' = S$

Segundo Paso:

Escoger el máximo valor de la matriz S $(i,j); MAXS(i,j) = S(i*, j*)$

Si (i* es el último cliente visitado en la ruta R(i*), j* es el primer cliente visitado en la ruta R(j*) y se cumplen todas las restricciones (capacidad, ventanas de tiempo, etc.)

Unir la ruta R(i*) con la ruta R(j*).

Asignar S←S'

Eliminar los arcos S (i*, j*) de la matriz S.

En caso contrario eliminar S (i*, j*) de la matriz S.

Tercer Paso

Si $S \neq 0$, ir al paso 2, caso contrario Fin

3.3.4 Aplicación del Método Clarke and Wright

Para el siguiente estudio consideraremos una comparación entre la programación realizada de forma empírica y la otra aplicando el método del ahorro. En la siguiente Tabla 18 podemos observar los pedidos que realizan los clientes, de los cuales calcularemos la demanda total, como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 18: Demanda de clientes por productos

CLIENTE	DISTRITO	CANTIDAD	PESO (kg)
CHEMICAL MINING S A	COMAS	15	525
CHEMICAL MINING S A	COMAS	80	2000
INDUSTRIAS JHOMERON S.A.	COMAS	3	600
INDUSTRIAS JHOMERON S.A.	COMAS	1	215
KARLAN S.A.C.	INDEPENDENCIA	2	330
KARLAN S.A.C.	INDEPENDENCIA	1	330
INDUSTRIAS DERIVADOS DEL ALCOHOL SA	LOS OLIVOS	4	620
FARMAGRO S.A	LOS OLIVOS	4	620
CHEMICAL RUBBER COMPANY S.A.C.	SAN MARTIN DE PORRES	6	150
SOLVENTES Y PINTURAS DEL PERU S.A.C.	CARABAYLLO	18	2970
ASESORES Y ABASTECEDORES E.I.R.L.	CARABAYLLO	1	18
ASESORES Y ABASTECEDORES E.I.R.L.	CARABAYLLO	2	390
ASESORES Y ABASTECEDORES E.I.R.L.	CARABAYLLO	18	1620
CORPORACION CRONS PERU S.A.C.	COMAS	18	2970
INDUSTRIAS JHOMERON S.A.	COMAS	10	1900
INDUSTRIAS JHOMERON S.A.	COMAS	2	540
SOLVENTES CARLOS E.I.R.L	COMAS	4	580
SOLVENTES CARLOS E.I.R.L	COMAS	4	100
VIPLASTIC PERU S.A.	INDEPENDENCIA	1	185
FARMEX S A	PUENTE PIEDRA	4	720
INSUMEX S.A.	ATE	10	1000
JYRMEZE S.A.C	LA VICTORIA	30	5700
FLINT GROUP PERU S.A.	SAN JUAN DE LURIGANCHO	15	375
INDUSTRIAS LA MILLA S.A.C.	SAN MARTIN DE PORRES	3	540
INDUSTRIAS LA MILLA S.A.C.	SAN MARTIN DE PORRES	3	555
INDUSTRIAS LA MILLA S.A.C.	SAN MARTIN DE PORRES	2	390
INDUSTRIAS LA MILLA S.A.C.	SAN MARTIN DE PORRES	1	190
INDUSTRIAS LA MILLA S.A.C.	SAN MARTIN DE PORRES	2	330
INDUSTRIAS LA MILLA S.A.C.	SAN MARTIN DE PORRES	4	220
SERVICIOS Y ESTRATEGIA ECOLOGICA EIRL	SAN MARTIN DE PORRES	15	2475
SERVICIOS Y ESTRATEGIA ECOLOGICA EIRL	SAN MARTIN DE PORRES	10	1800

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Peso Total demandado por cada Cliente.

NODO	CLIENTE	PESO
1	CHEMICAL MINING	2525
14	CHEMICAL RUBBER COMPANY	150
15	CORPORACION CRONS	2970
11	FARMAGRO	620
12	INDERAL	620
3	JHOMERON	3265
16	INDUSTRIAS LA MILLA	2225
7	KARLAN	660
18	SERVICIOS ESTRATEGIA ECOLOGICA	4275
5	SOLVENTES CARLOS	680
8	VIPLASTIC	185
19	ASESORES Y ABASTECEDORES	2028
13	FARMEX	720
21	SOLVENTES Y PINTURAS	2970
28	INSUMOS NO METALICOS	1000
35	JYRMEZE	5700
38	FLINT GROUP	375

Fuente: Elaboración Propia

3.3.4.1 Primer Escenario

Se realizó una programación de 4 unidades en la cual se observa que no se utilizaba eficientemente la capacidad de los vehículos, incrementando de esta manera un mayor costo en las operaciones, porque adicional a ello, el ruteo realizado por los conductores no era el óptimo.

RUTA I:

Tabla 20: Clientes asignados a la ruta 1

	VOLKSWAGEN	
Nodo	**Cliente**	**Peso (KG)**
1	**CHEMICAL MINING**	2525
3	**JHOMERON**	815
7	**KARLAN**	660
11	**FARMAGRO**	620
12	**INDERAL**	620
14	**CHEMICAL RUBBER COMPANY**	150

Fuente: Elaboración Propia

Como se visualiza la cantidad demandada satisfecha es de 5390 kg cubriendo el 89% de la capacidad del vehículo a un costo total de s/.52.05 soles.

Y realizando el siguiente orden de entrega:

Tabla 21: Orden de entrega de los clientes asignados a la ruta 1

0	14	11	12	1	7	3	0
GTM DEL PERU	**CHEMICAL RUBBER COMPANY**	**FARMAGRO**	**INDERAL**	**CHEMICAL MINING**	**KARLAN**	**INDUSTRIAS JHOMERON**	**GTM DEL PERU**

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo como recorrido total 69.4 Km.

Ilustración 16: Gráfico de la ruta 1



Fuente: Sistema GPS Satelital

RUTA II:

Tabla 22: Clientes asignados a la ruta 2

	ISUZU	
Nodo	**Cliente**	**Peso (KG)**
21	**SOLVENTES Y PINTURAS (CARABAYLLO)**	2970
19	**ASESORES Y ABASTECEDORES**	2028
15	**CORPORACION CRONS**	900
3	**INDUSTRIAS JHOMERON**	540
5	**SOLVENTES CARLOS**	680
8	**VIPLASTIC**	185
23	**FARMEX**	720

Fuente: Elaboración Propia

Para esta ruta de tiene satisfecha la cantidad de 7923 kg cubriendo el 66.02% de la capacidad del vehículo a un costo total s/.62.18 de soles.

Y realizando el siguiente orden de entrega:

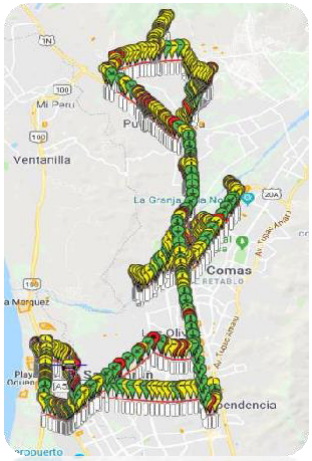
Tabla 23: Orden de entrega de los clientes asignados a la ruta 2

0	8	5	15	3	21	19	23	0
GTM DEL PERU	VIPLASTIC PERU S.A.	SOLVENTES CARLOS E.I.R.L	CORPORACION CRONS PERU S.A.C.	INDUSTRIAS JHOMERON S.A.	SOLVENTES Y PINTURAS DEL PERU S.A.C.	ASESORES Y ABASTECEDORES E.I.R.L.	FARMEX S A	GTM DEL PERU

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo como recorrido total 98.7 Km.

Ilustración 17: Gráfico de la ruta 2



Fuente: Sistema GPS Satelital

RUTA III:

Tabla 24: Clientes asignados a la ruta 3

	JAC	
Nodo	**Cliente**	**Peso (KG)**
28	**INSUMEX**	1000
35	**JYRMEZE**	5700
38	**FLINT GROUP**	375

Fuente: Elaboración Propia

Para esta ruta de tiene satisfecha la cantidad de 7075 kg cubriendo el 88.4% de la capacidad del vehículo a un costo total de s/.39.15 soles.

Y realizando el siguiente orden de entrega:

Tabla 25: Orden de entrega de los clientes asignados a la ruta 3

1	35	28	38	0
GTM DEL PERU	**JYRMEZE**	**INSUMEX**	**FLINT GROUP**	**GTM DEL PERU**

Fuente: Elaboración Propia

Se tiene un recorrido total 69.9 Km.

Ilustración 18: Gráfico de la ruta 3



Fuente: Sistema GPS Satelital

RUTA IV:

Tabla 26: Clientes asignados a la ruta 4

	FORLAND	
Nodo	**Cliente**	**Peso (KG)**
16	**INDUSTRIAS LA MILLA**	2225
18	**SERVICIOS Y ESTRATEGIA ECOLOGICA**	4275

Fuente: Elaboración Propia

Para esta ruta de tiene satisfecha la cantidad de 6500 kg cubriendo el 65% de la capacidad del vehículo a un costo total de s/.20.10 soles.

Realiza el siguiente orden de entrega:

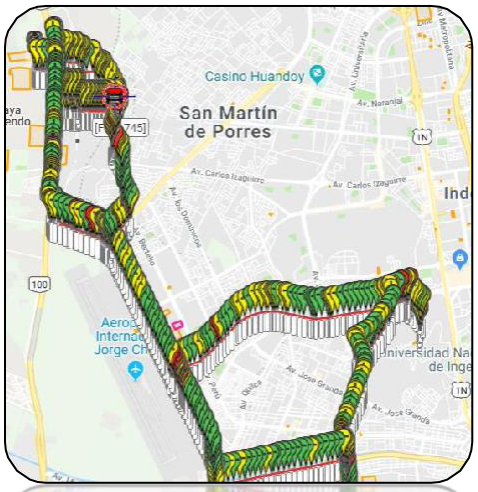
Tabla 27: Orden de entrega de los clientes asignados a la ruta 4

0	18	16	0
GTM DEL PERU	**SERVICIO Y ESTRATEGIA ECOLOGICA**	**INDUSTRIAS LA MILLA**	**GTM DEL PERU**

Fuente: Elaboración Propia

Se tiene un recorrido total 26.1 Km.

Ilustración 19: Gráfico de la ruta 4



Fuente: Sistema GPS Satelital

3.3.4.2 Segundo Escenario

Con ayuda del software VRP SOLVER el cual tiene adaptado el algoritmo del método del ahorro, procederemos a resolver nuestro problema.

Definimos las coordenadas de los puntos de entrega como se adjunta en el cuadro.

Tabla 28: Coordenadas Geográficas de los clientes

NODO	CLIENTE	LATITUD	LONGITUD
0	GTM DEL PERU	-11.97295	-77.12774
1	CHEMICAL MINING S A	-11.90984	-77.06259
3	INDUSTRIAS JHOMERON S.A.	-11.92141	-77.06672
5	SOLVENTES CARLOS E.I.R.L	-11.92084	-77.06997
7	KARLAN S.A.C.	-11.98568	-77.05619
8	VIPLASTIC PERU S.A.	-12.00045	-77.05881
11	FARMAGRO S.A	-11.9587	-77.06795
12	INDUSTRIAS DERIVADOS DEL ALCOHOL SA	-11.97588	-77.06166
14	CHEMICAL RUBBER COMPANY S.A.C.	-11.93613	-77.06944
15	CORPORACION CRONS PERU S.A.C.	-11.9314	-77.06957
16	INDUSTRIAS LA MILLA S.A.C.	-12.01545	-77.06559
18	SERVICIOS Y ESTRATEGIA ECOLOGICA EIRL	-12.01476	-77.06564
19	ASESORES Y ABASTECEDORES E.I.R.L.	-11.89914	-77.03545
21	SOLVENTES Y PINTURAS DEL PERU S.A.C.	-11.81726	-77.07836
23	FARMEX S A	-11.86755	-77.06946
28	INSUMEX S.A.	-12.02615	-76.93602
35	JYRMEZE S.A.C	-12.06375	-77.02203
38	FLINT GROUP PERU S.A.	-12.01139	-76.99801

Fuente: Elaboración Propia

Esta información la guardaremos en un archivo txt. En la cual detallaremos las coordenadas y las demandas de cada punto de entrega.

Luego se selecciona el botón Browse para poder elegir el archivo txt. Y luego el botón Load para que pueda ser reconocida la información ingresada.

Ilustración 20: Coordenadas y Demandas de los clientes en formato txt.

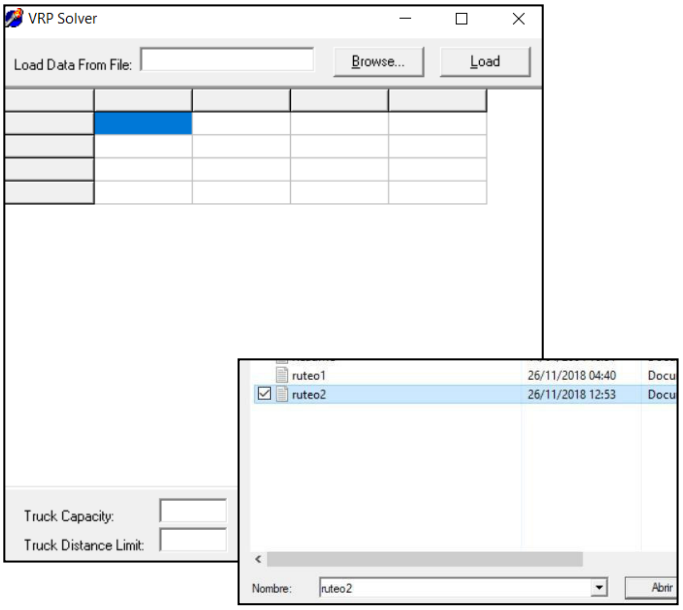
ruteo2: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

```
-11.97295       -77.12774
-11.90984       -77.06259       2525
-11.93613       -77.06944       150
-11.93140       -77.06957       2970
-11.95870       -77.06795       620
-11.97588       -77.06166       620
-11.92141       -77.06672       3265
-12.01545       -77.06559       2225
-11.98568       -77.05619       660
-12.01476       -77.06564       4275
-11.92084       -77.06997       680
-12.00045       -77.05881       185
-11.89914       -77.03545       2028
-11.81726       -77.07836       2970
-11.86755       -77.06946       720
-12.02615       -76.93602       1000
-12.06375       -77.02203       5700
-12.01139       -76.99801       375
```

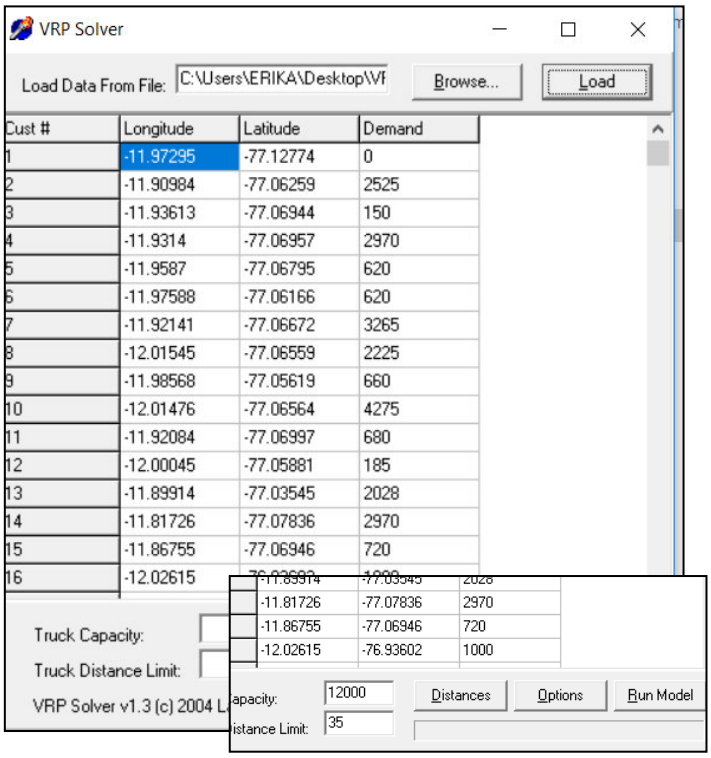
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 21: Ingreso de datos en el software VRP Solver



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22: Lectura de los datos por el software



Fuente: Software Vrp Solver

Se introduce la capacidad del vehículo y la mayor distancia que va a recorrer.

Finalmente se presiona en Run Model para obtener las rutas.

- La ruta número 1 está conformada por los siguientes clientes:

0	3	1	19	23	21	0
GTM DEL PERU	INDUSTRIAS JHOMERON	CHEMICAL MINING	ASESORES Y ABASTECEDORES	FARMEX	SOLVENTES Y PINTURAS	GTM DEL PERU

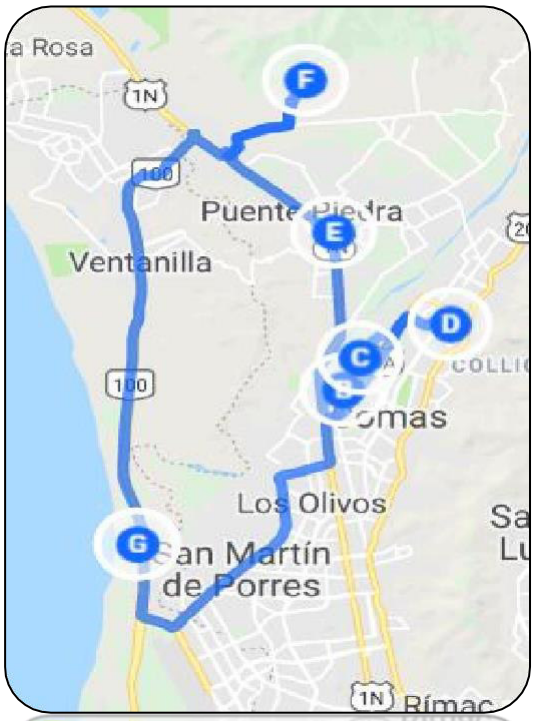
PESO: 11508 Kg

DISTANCIA RECORRIDA: 69 km

TIEMPO: 2horas 35 minutos aprox.

CAMIÓN ASIGNADO: HINO

Ilustración 23: Gráfico de los clientes conformados por la ruta 1



Fuente: Elaboración Propia

Los puntos de entrega visitados son 6 y el costo total de la ruta es de S/. 44.9 soles.

La capacidad utilizada de este camión es del 96%.

- La ruta número 2 está conformada por los siguientes clientes:

0	5	15	14	11	12	7	8	18	0
GTM DEL PERU	SOLVENTES CARLOS	CORPORACION CRONS	CHEMICAL RUBBER COMPANY	FARMAGRO	INDERAL	KARLAN	VIPLASTIC	SERVICIO Y ESTRATEGIA ECOLOGICA.	GTM DEL PERU

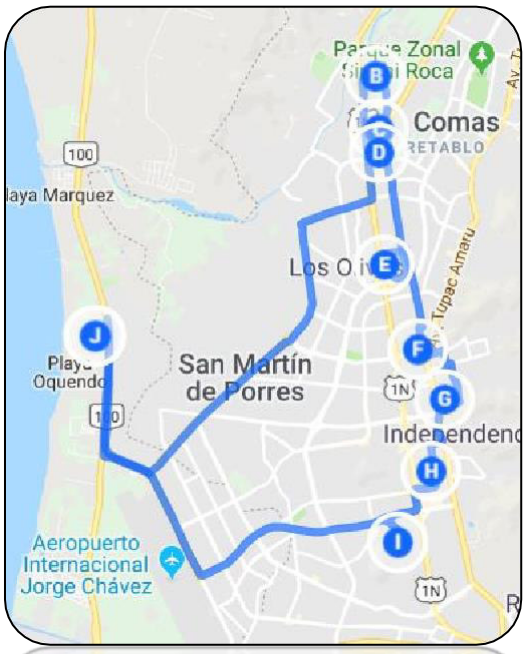
Peso: 10160 Kg

Distancia: 47 km

Tiempo: 1 hora 58 minutos aprox.

Vehículo Asignado: ISUZU

Ilustración 24: Gráfico de los clientes conformados por la ruta 2



Fuente: Elaboración Propia

Los puntos de entrega visitados son 8 y el costo total recorrido por este vehículo es de S/.29.61

La capacidad utilizada de este camión es de 85%.

- La ruta número 3 está conformada por los siguientes clientes:

0	38	28	35	16	0
GTM DEL PERU	FLINT GROUP	INSUMEX	JYRMEZE	INDUSTRIAS LA MILLA	GTM DEL PERU

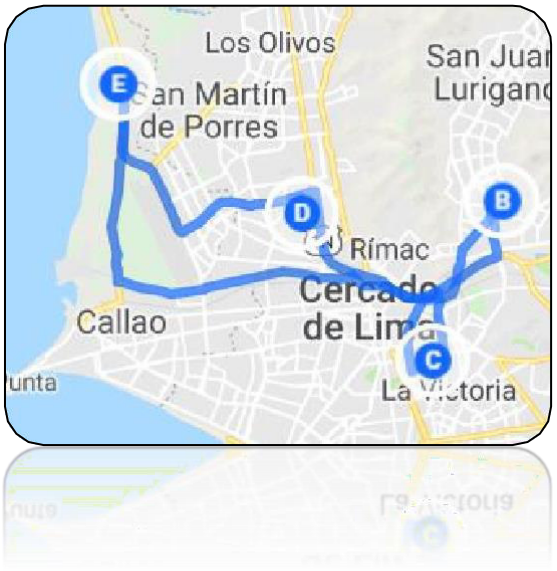
Peso: 9300

Distancia: 59 km

Tiempo: 2 horas 5 minutos aprox.

Vehículo Asignado: FORLAND

Ilustración 25: Gráfico de los clientes conformados por la ruta 3



Fuente: Elaboración Propia

Los puntos de entrega visitados son 4 y el costo total recorrido por este vehículo es de S/45.43

La capacidad utilizada de este camión es de 93%.

Ilustración 26: Resultados del software

Stop	Weight
1	0
7	3265
2	2525
13	2028
15	720
14	2970
Total:	11508.00

ROUTE 2

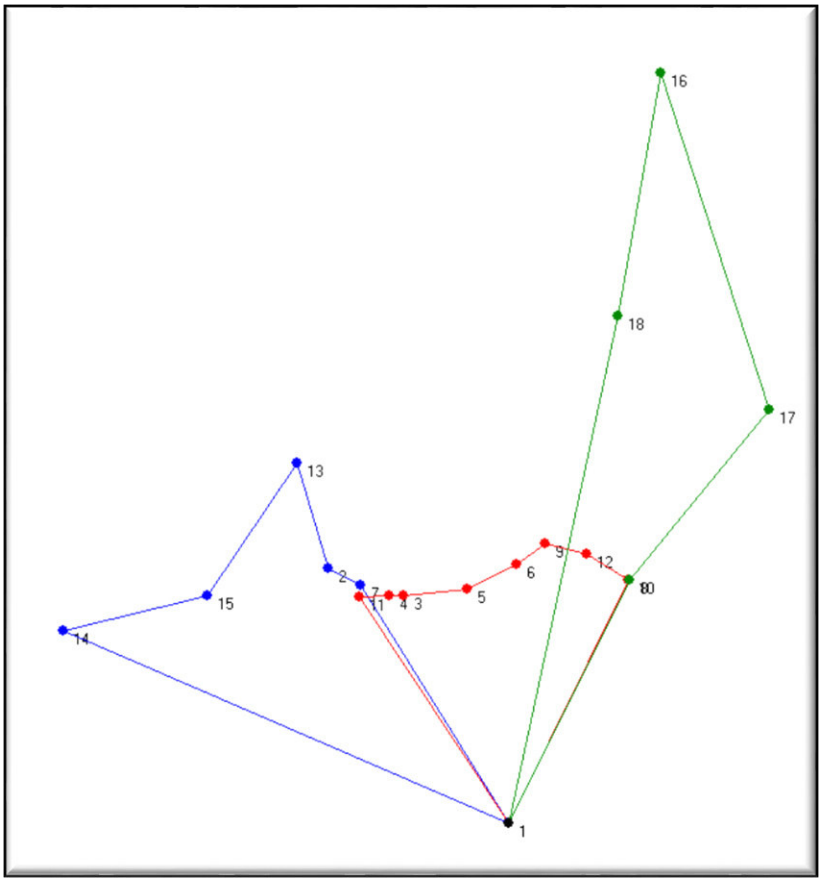
Stop	Weight
1	0
11	680
4	2970
3	150
5	620
6	620
9	660
12	185
10	4275
Total:	10160.00

ROUTE 3

Stop	Weight
1	0
18	375
16	1000
17	5700
8	2225
Total:	9300.00

Fuente: Software Vrp Solver

Ilustración 27: Gráfico de las rutas



Fuente: Software Vrp Solver

3.3.5 Análisis de los resultados obtenidos

Teniendo ambos escenarios podemos realizar el siguiente análisis en base a los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

Tabla 29: Resultados de ambos escenarios

ESCENARIOS	PRIMER ESCENARIO	SEGUNDO ESCENARIO
Número de Vehículos	**4**	**3**
Distancia Recorrida (Km)	**264.1**	**175**
Costo Total (soles)	**S/.173.48**	**S/.119.94**

Fuente: Elaboración Propia

Observamos que en el primer escenario se requiere una unidad adicional lo cual genera un incremento en los costos cuyo valor es de S/. 53.54 soles y la distancia ascienden a 89.1 km. Para mayor notoriedad en la mejora de datos aplicando la heurística de Clarke and Wright también se hizo un estudio de la capacidad utilizada de los vehículos.

Tabla 30: Capacidad utilizada de los camiones

Camión	Primer Escenario	Segundo Escenario
VOLKSWAGEN	89.00%	-
JAC	88.40%	-
FORLAND	65.00%	95.00%
ISUZU	66.02%	85.00%
HINO	-	96.00%

Fuente: Elaboración Propia

En el primero escenario se visualiza que las unidades programadas utilizan más del 60% de su capacidad y en el segundo escenario satisfacen más del 85%, sin embargo, en base al estudio realizado solo bastaría con hacer uso de 3 unidades para cubrir la cantidad total demandada, lo que conlleva a una reducción en los costos operativos y una mejor utilización de los recursos que en este caso serían los camiones.

IV. CONCLUSIONES

- Se realizó un levantamiento de información para conocer y establecer los procesos operativos de la organización en estudio.
- Se eligió optar por un método heurístico para resolver la programación de unidades el cual debido a sus características se identificó y adecuó al modelo del problema de ruteo de vehículos capacitado (CVRP), debido a que el número de clientes y cantidad demandada varía por cada día, contando con una cartera de clientes que es de 58 aproximadamente.
- Se calcularon las distancias de cada punto de entrega con ayuda del sistema de rastreo satelital (gps) que cuenta la empresa y para los que no se encontraban se empleó el Google maps, además, se determinaron los costos de utilización por cada vehículo.
- Se empleó el software Vrp Solver en el cual tiene adaptado el método de Clarke and Wrigth.
- Al implementar esta heurística se obtuvieron menores distancias de recorrido, una reducción en los costos operativos y una mejor utilización de los camiones los cuales son nuestros recursos fundamentales dentro de la organización.
- Para el caso particular en estudio se obtuvo un vehículo menos en la programación y un mejor aprovechamiento de las capacidades de estos.

V. RECOMENDACIONES

- Implementar la herramienta en la operación para disminuir los tiempos en la planificación de rutas y así recepcionar más pedidos para dar una mayor producción a los vehículos.
- Considerar aplicar este método para toda la cartera de clientes de la empresa.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Cadillo Paredes, José Josymar (2011) Estudio Comparativo de la Aplicación de Heurísticas al Problema de Ruteo de Vehículos. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Castañeda Jiménez, Juliana, Cardona Arias, Arias Andres (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 ubicados en Pereira. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira.

Frederick S. Hillier y Gerald J. Lieberman. Introducción a la Investigación de Operaciones. Novena Edición. McGra w – Hill/ Interamericana Editores, S.A.563-566.

Hamdy A. Taha (2012) Investigación de Operaciones. Novena Edición. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2012

Herazo Padilla, Nilson (2012) Modelación Matemática del Problema de Ruteo de Vehículos con restricciones de Múltiples Depósitos, Flota Heterogénea de Vehículos y Ventanas de Tiempos. Facultad de Ingenierías. Corporación Universitaria de la Costa, CUC.

J. de Magalhaes and J. de Sousa (2006). Dynamic VRP in pharmaceutical distribution – a case study. CEJOR (2006) 14:177-192.

Gillett and L. Miller (1974) A Heuristic Algorithm for the vehicle Dispatching Problem.Opns. Res 22. 340-349.

Olivera, Alfredo (2004) Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos. Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Lysgaard, Jens (1997) Clarke & Wright Algoritmo de Ahorros. Departamento de Ciencias de la Gestión y Logística, la Aarhus School of Business, 1997.

Luis Fernando Galindres Guancha, Eliana Mirledy Toro Ocampo, Antonio Escobar Zuluaga (2015) Solución del problema de ruteo capacitado considerando efectos ambientales mediante una técnica híbrida. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Scientia et Technica Año XX, Vol. 20, No 3 septiembre de 2015

L. Barcos. V. Rodriguez, M. Álvarez and F. Robusté (2002). Algoritmo basado en la optimización mediante colonias de hormigas para la resolución del problema del transporte de carga desde varios orígenes a varios destinos. V Congreso de Ingeniería del Transporte Angel Ibeas Portilla- José Mª Díaz y Pérez de la Lastra © Santander - CIT 2002.

Riojas Cañari, Alicia Cirila. Conceptos, algoritmo y aplicación al problema de N-reinas. Facultad de Ciencias Matemáticas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú (2005)

VII. ANEXOS

Anexo 1: Tabla de distancias de la fila 1 a 58 y la columna 1 a 29

	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	26	27	28	29
1	-	1.7	1.6	2.3	1.5	1.5	13.2	11.7	8.9	7.7	7.4	8.6	6.3	3.8	3.2	13.6	13.9	13.5	4.5	8.7	17.9	9.9	9.3	15.9	10.7	22.9	20.0	30.0	34.9
2	1.7	-	1.5	3.9	1.9	1.9	11.5	10.0	7.3	6.1	8.3	8.1	4.6	2.0	1.3	11.9	12.1	11.8	5.2	8.1	17.8	10.2	10.0	16.3	10.6	22.9	19.1	27.9	34.3
3	1.6	1.5	-	4.3	1.0	1.0	11.5	10.0	8.1	7.0	6.5	8.0	4.9	1.9	1.3	11.8	12.1	11.8	5.5	8.5	18.0	10.6	10.0	16.2	11.2	22.9	19.0	27.8	34.3
4	2.3	3.8	4.2	-	4.6	4.5	15.2	13.7	11.0	10.5	9.2	11.3	8.3	5.6	5.0	15.6	15.9	15.6	2.9	5.9	21.8	11.5	13.7	20.0	14.3	24.2	22.8	32.0	32.8
5	1.5	1.9	1.0	3.7	-	0.0	11.6	10.1	7.4	7.2	8.5	8.2	4.8	2.1	1.5	12.0	12.3	11.9	5.9	8.9	17.2	9.9	9.2	15.5	10.4	19.7	18.3	28.0	31.1
6	1.5	1.9	1.0	3.6	0.0	-	11.7	10.2	7.4	7.2	6.7	7.9	5.2	2.2	1.6	12.1	12.3	12.0	5.9	8.8	17.3	9.8	9.6	15.9	10.2	20.1	18.7	28.4	30.7
7	10.5	8.7	7.8	11.6	8.8	8.9	-	2.8	3.0	3.2	5.4	1.8	5.7	6.8	6.7	5.0	5.3	4.9	12.8	17.2	29.3	18.7	19.4	24.8	19.1	25.4	27.6	26.8	24.2
8	12.4	10.6	10.6	14.3	10.7	10.8	2.8	-	4.9	5.1	8.2	4.9	7.6	8.7	9.5	2.9	3.2	2.8	15.1	19.2	25.0	17.2	17.0	23.3	17.6	25.1	26.4	19.7	22.1
9	8.0	6.2	6.3	9.9	6.3	6.3	3.9	7.0	-	0.3	3.8	1.1	3.2	4.3	5.1	6.2	6.5	6.1	10.1	14.1	23.1	15.3	15.3	21.5	15.8	25.1	24.2	27.5	24.7
10	7.8	5.9	5.8	9.7	6.5	6.1	4.4	6.7	0.3	-	3.5	1.4	4.5	4.1	4.8	6.4	6.7	6.3	12.1	14.1	22.0	14.2	14.0	20.3	14.6	25.2	23.2	22.4	24.8
11	6.5	4.6	4.8	8.4	4.8	5.1	9.0	7.5	3.0	2.8	-	3.5	3.2	3.2	3.7	9.5	9.8	9.4	10.6	13.5	21.5	13.7	13.5	19.7	14.0	27.4	28.6	25.5	27.9
12	9.1	7.2	7.2	11.0	7.4	7.4	3.2	4.1	1.2	1.5	4.9	-	4.2	5.4	6.2	6.2	6.4	6.1	10.4	14.5	23.0	15.3	15.1	21.3	15.8	25.0	24.1	22.1	24.6
13	6.7	4.8	4.8	8.5	4.9	5.0	7.7	6.2	3.5	3.3	4.6	4.3	-	2.9	3.7	8.9	9.2	8.8	9.7	12.6	19.6	11.8	11.6	17.9	12.4	18.7	19.9	24.8	27.3
14	3.8	2.0	1.9	5.7	2.5	2.2	9.9	8.4	4.6	5.4	3.8	5.1	3.0	-	0.6	10.0	10.3	9.9	7.0	9.9	17.6	9.7	9.5	15.8	10.2	20.0	18.6	26.0	28.4
15	3.2	1.3	1.3	5.1	1.5	1.6	10.6	8.8	5.0	6.0	4.3	6.8	3.6	0.6	-	10.8	11.1	10.7	6.4	9.3	17.0	9.1	8.9	15.2	9.5	19.4	18.0	26.7	29.2
16	13.7	11.9	11.8	15.6	12.0	12.1	5.0	2.9	6.2	6.4	9.5	6.2	8.9	10.0	10.8	-	0.5	0.1	16.2	19.9	29.8	25.4	25.5	29.9	25.3	24.5	25.7	24.7	21.8
17	14.0	12.1	12.1	15.9	12.3	12.3	5.3	3.2	6.5	6.7	9.8	6.4	9.2	10.3	11.1	0.5	-	0.5	17.4	24.0	34.6	25.7	25.8	30.1	25.6	24.8	26.0	25.0	22.1
18	13.7	11.8	11.8	15.6	11.9	12.0	4.9	2.8	6.1	6.3	9.4	6.1	8.8	9.9	10.7	0.1	0.5	-	16.2	19.9	29.7	25.3	25.4	29.8	25.2	29.3	27.9	19.3	21.8
19	4.4	5.2	5.5	2.9	5.9	5.9	12.8	15.1	10.1	12.1	10.6	10.4	9.7	7.0	6.4	16.2	17.4	16.2	-	4.8	19.1	10.4	10.5	16.5	21.6	20.3	33.6	40.0	34.9
20	7.3	8.1	8.5	5.9	8.9	8.8	17.2	19.2	14.1	14.1	13.5	14.5	12.6	9.9	9.3	19.9	24.0	19.9	4.8	-	9.9	5.4	5.5	11.8	5.3	16.7	15.3	37.2	39.6
21	19.9	17.8	18.0	21.8	17.2	17.3	29.3	25.0	23.1	22.0	21.5	23.0	19.6	17.6	17.0	29.8	34.6	29.7	19.1	9.9	-	9.6	10.4	5.8	7.4	12.4	11.0	46.4	48.8
22	12.1	10.2	10.6	11.5	9.9	9.8	18.7	17.2	15.3	14.2	13.7	15.3	11.8	9.7	9.1	25.4	25.7	25.3	10.4	5.4	9.6	-	1.4	8.3	0.9	12.5	11.1	35.1	37.5
23	11.9	10.0	10.0	13.7	9.2	9.6	19.4	17.0	15.3	14.0	13.5	15.1	11.6	9.5	8.9	25.5	25.8	25.4	10.5	5.5	10.4	1.4	-	8.2	1.9	12.4	11.0	34.4	36.8
24	18.1	16.3	16.2	20.0	15.5	15.9	24.8	23.3	21.5	20.3	19.7	21.3	17.9	15.8	15.2	29.9	30.1	29.8	16.5	11.8	5.8	8.3	8.2	-	9.0	8.3	6.9	41.4	44.2
25	12.4	10.6	11.2	14.3	10.4	10.2	19.1	17.6	15.8	14.6	14.0	15.8	12.4	10.2	9.5	25.3	25.6	25.2	21.6	5.3	7.4	0.9	1.9	9.0	-	12.7	11.3	35.6	38.4
26	24.1	22.9	22.9	24.2	19.7	20.1	25.4	25.1	25.1	25.2	27.4	25.0	18.7	20.0	19.4	24.5	24.8	29.3	20.3	16.7	12.4	12.5	12.4	8.3	12.7	-	2.3	45.7	48.2
27	21.1	19.1	19.0	22.8	18.3	18.7	27.6	26.4	24.2	23.2	28.6	24.1	19.9	18.6	18.0	25.7	26.0	27.9	33.6	15.3	11.0	11.1	11.0	6.9	11.3	2.3	-	44.4	46.9
28	29.8	27.9	27.8	32.0	28.0	28.4	26.8	19.7	27.5	22.4	25.5	22.1	24.8	26.0	26.7	24.7	25.0	19.3	40.0	37.2	46.4	35.1	34.4	41.4	35.6	45.7	44.4	-	5.6
29	36.2	34.3	34.3	32.8	31.1	30.7	24.2	22.1	24.7	24.8	27.9	24.6	27.3	28.4	29.2	21.8	22.1	21.8	34.9	39.6	48.8	37.5	36.8	44.2	38.4	48.2	46.9	5.6	-
30	31.1	26.3	29.2	30.1	26.5	26.5	20.0	17.9	20.4	20.6	23.7	20.4	23.1	24.2	25.0	17.6	20.2	17.8	34.6	35.4	44.6	33.3	32.7	39.6	33.8	43.9	42.6	8.7	5.3
31	30.8	25.9	28.9	29.7	26.0	26.1	19.7	17.5	20.0	20.2	23.3	20.0	22.7	23.8	24.5	17.2	19.8	17.1	44.2	37.1	44.2	38.9	32.3	39.2	33.1	43.5	42.2	8.3	4.8
32	42.9	41.0	41.0	44.8	41.2	41.5	35.0	32.9	35.4	35.6	38.7	53.3	38.5	43.8	40.0	37.2	37.5	37.1	27.6	50.4	55.4	48.3	47.6	54.6	48.5	56.8	57.2	13.7	29.2
33	23.8	21.9	22.1	25.5	21.9	22.3	15.9	13.7	16.2	16.3	19.4	16.1	20.2	20.0	20.7	14.5	13.8	14.4	35.5	33.2	40.4	35.1	28.4	35.4	29.3	39.7	38.4	6.2	5.3
34	27.6	27.8	29.7	29.3	26.3	26.0	19.6	17.4	19.9	20.0	23.1	19.8	23.9	23.7	24.4	19.4	17.7	17.3	26.1	36.9	44.1	38.8	32.1	39.0	33.0	43.3	42.0	8.2	4.7
35	22.1	20.3	20.2	24.3	20.7	20.6	14.2	12.2	14.7	14.8	18.0	14.7	17.4	18.5	19.2	11.9	12.2	11.9	26.4	29.5	38.9	33.6	27.0	33.6	27.8	37.8	36.6	12.1	11.2
36	22.5	20.6	20.9	24.6	20.8	21.1	14.7	12.8	15.3	15.4	18.5	15.2	17.9	19.1	19.8	12.5	13.9	12.4	26.4	30.2	39.5	28.2	27.5	34.2	28.4	38.4	37.1	12.7	11.9
37	21.7	19.8	19.8	24.7	20.0	21.1	14.7	12.8	15.3	15.5	20.1	15.3	17.7	19.1	19.9	13.6	12.8	12.5	28.3	32.4	39.5	34.3	27.5	34.2	28.4	38.5	37.2	12.7	11.9
38	25.4	23.5	22.5	26.3	24.0	24.3	13.0	14.4	16.9	17.0	20.0	16.8	19.5	20.7	21.4	14.1	14.4	16.3	28.1	33.9	41.1	35.8	30.7	37.4	31.3	38.9	40.4	11.3	10.6
39	24.2	23.4	22.3	26.1	22.5	22.8	16.4	14.2	16.7	16.8	22.4	16.6	19.3	20.5	21.2	13.9	14.2	13.8	30.5	33.7	40.9	35.6	29.2	35.8	29.8	40.1	38.8	11.0	10.3
40	26.6	26.7	24.7	28.5	24.9	25.2	18.8	16.6	19.1	19.3	25.3	19.1	21.8	22.9	23.7	18.6	16.6	16.5	33.4	36.2	43.3	38.1	31.6	38.3	32.2	42.6	41.3	6.9	3.8
41	35.7	35.3	27.9	31.4	28.1	28.1	21.7	19.6	22.0	22.2	30.8	22.0	24.7	25.9	26.6	20.2	19.6	19.5	33.7	39.1	46.2	35.0	34.5	41.2	35.2	42.8	44.2	4.9	1.6
42	39.1	35.7	35.7	39.5	36.2	33.4	24.6	25.9	27.5	27.7	37.0	38.1	33.6	31.3	42.7	35.3	24.9	35.3	38.4	44.1	47.0	42.0	39.7	49.1	40.6	45.7	44.5	25.8	22.2
43	36.2	34.3	39.9	38.0	34.4	39.8	33.1	31.3	33.7	33.9	39.9	34.6	36.4	38.7	39.5	32.2	31.2	30.9	45.1	43.6	55.4	46.6	46.2	52.9	45.6	48.2	47.4	21.9	18.2
44	44.1	44.1	44.1	48.0	42.4	44.6	38.1	34.2	36.6	36.8	43.9	40.4	44.0	40.4	41.2	32.8	34.1	32.7	48.0	51.6	56.7	49.5	51.0	57.7	51.4	57.3	56.8	25.3	23.3
45	47.3	44.3	44.3	49.1	45.5	46.7	39.4	34.1	40.0	40.7	42.5	40.5	42.2	44.4	45.1	36.7	38.1	36.6	52.0	55.5	60.6	53.5	52.0	58.9	48.8	53.9	52.6	29.3	25.1
46	46.8	43.8	43.8	48.6	45.0	45.3	38.9	35.7	39.2	39.4	58.5	39.2	40.8	43.0	43.8	35.4	36.7	35.3	50.6	54.2	59.3	52.2	51.7	58.4	49.2	54.3	53.1	27.9	23.7
47	62.7	60.9	60.8	64.6	61.0	61.3	54.6	50.9	55.2	55.4	57.6	55.2	57.9	59.0	59.8	52.5	52.7	52.4	66.6	70.2	75.3	68.1	67.5	74.1	68.3	70.7	69.5	43.9	40.2
48	61.8	60.0	59.9	63.8	60.1	60.1	53.7	51.8	54.3	54.5	15.9	54.2	57.0	58.1	58.8	51.5	51.8	51.4	65.7	69.3	74.3	67.2	66.5	73.2	67.4	69.8	68.5	43.0	33.5
49	20.2	18.5	18.5	22.3	18.5	18.7	12.0	10.2	11.8	12.8	13.9	12.2	15.3	15.6	17.2	7.1	7.4	7.0	24.1	27.8	35.8	24.7	24.9	31.9	25.8	28.7	26.3	20.4	20.4
50	17.4	15.5	15.5	19.2	15.7	15.7	11.9	11.6	11.6	11.8	11.1	11.5	11.9	13.7	1.4	11.0	11.3	10.9	19.3	24.8	29.9	24.1	24.0	19.9	24.2	16.5	15.2	30.0	31.4
51	15.5	14.3	13.6	18.1	13.8	13.8	8.2	7.2	7.8	9.8	11.8	9.6	9.9	12.2	11.9	5.8	6.1	5.8	19.6	23.6	29.9	20.9	19.6	24.1	20.5	20.7	19.4	25.2	23.4
52	15.7	13.8	13.8	17.6	14.0	14.1	8.8	7.9	8.5	10.1	13.5	9.8	10.2	12.3	12.7	6.5	6.8	6.4	21.7	23.9	30.1	21.0	20.4	24.4	21.2	21.0	19.7	24.6	24.1
53	17.8	16.1	16.1	19.9	16.0	16.3	9.6	7.8	9.8	10.4	13.5	10.2	10.8	13.6	14.8	5.1	5.4	7.4	22.9	24.8	29.8	22.9	22.5	33.2	23.4	29.9	26.8	18.4	19.6
54	19.0	17.4	17.3	20.9	17.3	17.3	10.1	9.0	11.5	11.7	14.8	11.5	14.2	15.3	16.0	8.6	8.9	8.5	22.1	26.5	31.5	24.4	23.7	30.4	24.6	32.6	31.3	17.4	16.9
55	18.2	16.6	16.5	20.1	16.5	16.7	10.1	8.2	10.2	10.9	14.0	10.3	13.4	14.5	15.3	5.6	5.8	5.5	20.6	25.7	30.3	23.2	23.1	29.6	23.8	27.6	26.3	18.8	19.1
56	17.5	14.9	14.9	18.7	15.8	16.1	8.0	7.7	9.2	9.4	12.5	9.6	11.9	13.8	14.6	4.5	4.8	4.5	20.6	25.0	29.2	22.3	22.5	31.9	23.1	28.5	27.2	17.8	19.3
57	18.4	16.9	16.9	20.7	16.6	17.1	8.8	8.4	10.1	10.2	13.3	10.8	12.7	13.9	15.4	5.4	5.7	5.3	22.3	29.7	30.9	23.0	23.1	32.0	24.2	28.6	25.5	18.6	20.2
58	24.9	22.8	22.8	27.7	23.3	23.3	16.4	14.2	17.5	17.7	20.8	17.5	18.9	21.6	21.5	12.7	12.6	12.1	29.5	32.9	37.5	29.8	30.5	33.4	31.2	30.0	28.7	32.1	27.7

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2: Tabla de distancias de la fila 1 a 58 y la columna 30 a 58

	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
1	27.7	27.2	55.9	23.9	26.4	21.6	20.7	20.6	23.3	23.7	32.3	34.6	35.2	45.1	59.0	45.7	45.7	63.0	58.2	19.4	18.3	15.5	15.8	17.4	18.9	18.0	17.5	18.1	24.0
2	26.3	25.9	41.0	21.9	27.8	20.3	20.6	19.8	23.5	23.4	26.7	35.3	35.7	34.3	44.1	44.3	43.8	60.9	60.0	18.5	15.5	14.3	13.8	16.1	17.4	16.6	14.9	16.9	22.8
3	29.2	28.9	41.0	22.1	29.7	20.2	20.9	19.8	22.5	22.3	24.7	27.9	35.7	39.9	44.1	44.3	43.8	60.8	59.9	18.5	15.5	13.6	13.8	16.1	17.3	16.5	14.9	16.9	22.8
4	30.1	29.7	44.8	25.5	29.3	24.3	24.6	24.7	26.3	26.1	28.5	31.4	39.5	38.0	48.0	49.1	48.6	64.6	63.8	22.3	19.2	18.1	17.6	19.9	20.9	20.1	18.7	20.7	27.7
5	26.5	26.0	41.2	21.9	26.3	20.7	20.8	20.0	24.0	22.5	24.9	28.1	36.2	34.4	42.4	45.5	45.0	61.0	60.1	18.5	15.7	13.8	14.0	16.0	17.3	16.5	15.8	16.6	23.3
6	26.5	26.1	41.5	22.3	26.0	20.6	21.1	21.1	24.3	22.8	25.2	28.1	33.4	39.8	44.6	46.7	45.3	61.3	60.1	18.7	15.7	13.8	14.1	16.3	17.3	16.7	16.1	17.1	23.3
7	20.0	19.7	35.0	15.9	19.6	14.2	14.7	14.7	13.0	16.4	18.8	21.7	24.6	33.1	38.1	39.4	38.9	54.6	53.7	12.0	11.9	8.2	8.8	9.6	10.1	10.1	8.0	8.8	16.4
8	17.9	17.5	32.9	13.7	17.4	12.2	12.8	12.8	14.4	14.2	16.6	19.6	25.9	31.3	34.2	34.1	35.7	50.9	51.8	10.2	11.6	7.2	7.9	7.8	9.0	8.2	7.7	8.4	14.2
9	20.4	20.0	35.4	16.2	19.9	14.7	15.3	15.3	16.9	16.7	19.1	22.0	27.5	33.7	36.6	40.0	39.2	55.2	54.3	11.8	11.6	7.8	8.5	9.8	11.5	10.2	9.2	10.1	17.5
10	20.6	20.2	35.6	16.3	20.0	14.8	15.4	15.5	17.0	16.8	19.3	22.2	27.7	33.9	36.8	40.7	39.4	55.4	54.5	12.8	11.8	9.8	10.1	10.4	11.7	10.9	9.4	10.2	17.7
11	23.7	23.3	38.7	19.4	23.1	18.0	18.5	20.1	20.0	22.4	25.3	30.8	37.0	39.9	43.9	42.5	58.5	57.6	15.9	13.9	11.1	11.8	13.5	13.5	14.8	14.0	12.5	13.3	20.8
12	20.4	20.0	53.3	16.1	19.8	14.7	15.2	15.3	16.8	16.6	19.1	22.0	38.1	34.6	40.4	40.5	39.2	55.2	54.2	12.2	11.5	9.6	9.8	10.2	11.5	10.3	9.6	10.8	17.5
13	23.1	22.7	38.5	20.2	23.9	17.4	17.9	17.7	19.5	19.3	21.8	24.7	33.6	36.4	44.0	42.2	40.8	57.9	57.0	15.3	11.9	9.9	10.2	10.8	14.2	13.4	11.9	12.7	18.9
14	24.2	23.8	43.8	20.0	23.7	18.5	19.1	19.1	20.7	20.5	22.9	25.9	31.3	38.7	40.4	44.4	43.0	59.0	58.1	15.6	13.7	12.2	12.3	13.6	15.3	14.5	13.8	13.9	21.6
15	25.0	24.5	40.0	20.7	24.4	19.2	19.8	19.9	21.4	21.2	23.7	26.6	42.7	39.5	41.2	45.1	43.8	59.8	58.8	17.2	1.4	11.9	12.7	14.8	16.0	15.3	14.6	15.4	21.5
16	17.6	17.2	37.2	14.5	19.4	11.9	12.5	13.6	14.1	13.9	18.6	20.2	35.3	32.2	32.8	36.7	35.4	52.5	51.5	7.1	11.0	5.8	6.5	5.1	8.6	5.6	4.5	5.4	12.7
17	20.2	19.8	37.5	13.8	17.7	12.2	13.9	12.8	14.4	14.2	16.6	19.6	24.9	31.2	34.1	38.1	36.7	52.7	51.8	7.4	11.3	6.1	6.8	5.4	8.9	5.8	4.8	5.7	12.6
18	17.8	17.1	37.1	14.4	17.3	11.9	12.4	12.5	16.3	13.8	16.5	19.5	35.3	30.9	32.7	36.6	35.3	52.4	51.4	7.0	10.9	5.8	6.4	7.4	8.5	5.5	4.5	5.3	12.1
19	34.6	44.2	27.6	35.5	26.1	26.4	26.4	28.3	28.1	30.5	33.4	33.7	38.4	45.1	48.0	52.0	50.6	66.6	65.7	24.1	19.3	19.6	21.7	22.9	22.1	20.6	20.6	22.3	29.5
20	35.4	37.1	50.4	33.2	36.9	29.5	30.2	32.4	33.9	33.7	36.2	39.1	44.1	43.6	51.6	55.5	54.2	70.2	69.3	27.8	24.8	23.6	23.9	24.8	26.5	25.7	25.0	29.7	32.9
21	44.6	44.2	55.4	40.4	44.1	38.9	39.5	39.5	41.1	40.9	43.3	46.2	47.0	55.4	56.7	60.6	59.3	75.3	74.3	35.8	29.9	29.9	30.1	29.8	31.5	30.3	29.2	30.9	37.5
22	33.3	38.9	48.3	35.1	38.8	33.6	28.2	34.3	35.8	35.6	38.1	35.0	42.0	46.6	49.5	53.5	52.2	68.1	67.2	24.7	24.1	20.9	21.0	22.9	24.4	23.2	22.3	23.0	29.8
23	32.7	32.3	47.6	28.4	32.1	27.0	27.5	27.5	30.7	29.2	31.6	34.5	39.7	46.2	51.0	52.0	51.7	67.5	66.5	24.9	24.0	19.6	20.4	22.5	23.7	23.1	22.5	23.1	30.5
24	39.6	39.2	54.6	35.4	39.0	33.6	34.2	34.2	37.4	35.8	38.3	41.2	49.1	52.9	57.7	58.9	58.4	74.1	73.2	31.9	19.9	24.1	24.4	33.2	30.4	29.6	31.9	32.0	33.4
25	33.8	33.1	48.5	29.3	33.0	27.8	28.4	28.4	31.3	29.8	32.2	35.2	40.6	45.6	51.4	48.8	49.2	68.3	67.4	25.8	24.2	20.5	21.2	23.4	24.6	23.8	23.1	24.2	31.2
26	43.9	43.5	56.8	39.7	43.3	37.8	38.4	38.5	38.9	40.1	42.6	42.8	45.7	48.2	57.3	53.9	54.3	70.7	69.8	28.7	16.5	20.7	21.0	29.9	32.6	27.6	28.5	28.6	30.0
27	42.6	42.2	57.2	38.4	42.0	36.6	37.1	37.2	40.4	38.8	41.3	44.2	44.5	47.4	56.8	52.6	53.1	69.5	68.5	26.3	15.2	19.4	19.7	26.8	31.3	26.3	27.2	25.5	28.7
28	8.7	8.3	13.7	6.2	8.2	12.1	12.7	12.7	11.3	11.0	6.9	4.9	25.8	21.9	25.3	29.3	27.9	43.9	43.0	20.4	30.0	25.2	24.6	18.4	17.4	18.8	17.8	18.6	32.1
29	5.3	4.8	29.2	5.3	4.7	11.2	11.9	11.9	10.6	10.3	3.8	1.6	22.2	18.2	23.3	25.1	23.7	40.2	33.5	20.4	31.4	23.4	24.1	19.6	16.9	19.1	19.3	20.2	27.7
30	-	0.6	22.3	4.4	1.3	6.9	7.6	7.7	9.1	8.8	2.2	5.1	19.1	15.1	18.0	22.0	20.6	36.6	35.7	18.8	27.5	20.0	20.7	16.2	11.9	15.7	15.9	16.8	18.4
31	0.6	-	21.8	3.9	0.8	7.6	8.2	8.3	8.6	8.3	1.8	4.6	19.2	15.2	18.1	21.3	20.8	36.7	35.8	17.2	24.7	19.5	20.2	15.7	15.0	15.2	15.4	16.3	23.8
32	22.3	21.8	-	23.1	27.5	29.4	27.5	29.7	25.5	24.1	24.0	18.9	42.0	38.6	37.7	41.7	40.3	60.1	55.4	36.6	40.5	38.6	36.0	31.7	30.7	32.2	31.1	32.0	37.5
33	4.4	3.9	23.1	-	4.2	7.8	8.4	8.4	5.3	4.7	3.1	4.9	21.7	23.3	22.5	24.6	23.2	39.2	13.9	21.4	16.2	16.9	12.4	11.8	12.8	12.8	12.1	13.0	19.9
34	1.3	0.8	27.5	4.2	-	10.3	10.8	11.3	7.7	7.1	0.9	3.8	19.7	15.7	18.6	22.6	21.2	37.2	36.3	16.3	26.1	18.7	19.4	14.8	14.2	14.4	14.6	15.4	22.6
35	6.9	7.6	29.4	7.8	10.3	-	0.6	0.6	9.0	9.0	12.0	11.9	17.6	20.3	23.2	27.1	25.8	41.8	40.9	8.5	21.5	14.1	14.8	11.8	4.7	7.7	10.0	8.6	15.7
36	7.6	8.2	27.5	8.4	10.8	0.6	-	0.1	9.5	9.1	11.5	14.4	14.7	19.8	22.7	25.8	25.3	41.3	40.4	8.0	18.9	14.7	14.2	7.5	4.2	7.5	8.3	8.2	15.7
37	7.7	8.3	29.7	8.4	11.3	0.6	0.1	-	9.2	9.0	11.4	14.4	14.6	19.8	22.7	25.8	25.3	41.3	40.3	7.9	18.9	14.6	14.2	7.3	4.1	6.7	8.2	8.0	20.0
38	9.1	8.6	25.5	5.3	7.7	9.0	9.5	9.2	-	1.9	7.4	10.3	26.4	27.5	27.0	28.1	29.6	43.5	42.6	14.1	23.9	16.4	17.1	12.6	11.8	12.1	12.3	13.2	18.6
39	8.8	8.3	24.1	4.7	7.1	9.0	9.1	9.0	1.9	-	6.6	9.5	25.6	26.7	24.1	36.2	34.9	42.7	41.8	13.7	24.7	16.1	16.7	12.2	11.6	11.7	12.0	12.8	18.3
40	2.2	1.8	24.0	3.1	0.9	12.0	11.5	11.4	7.4	6.6	-	3.1	19.5	15.6	18.5	22.4	21.1	37.1	36.2	17.9	27.7	20.3	20.9	16.4	15.6	15.9	16.2	17.0	25.3
41	5.1	4.6	18.9	4.9	3.8	11.9	14.4	14.4	10.3	9.5	3.1	-	21.8	17.9	22.6	23.9	23.4	39.4	38.4	20.0	27.5	22.4	23.0	18.5	17.7	19.2	18.2	19.0	27.9
42	19.1	19.2	42.0	21.7	19.7	17.6	14.7	14.6	26.4	25.6	19.5	21.8	-	5.2	14.6	10.4	10.8	27.2	26.3	23.8	30.9	27.8	27.2	21.6	18.8	21.5	21.7	21.8	16.5
43	15.1	15.2	38.6	23.3	15.7	20.3	19.8	19.8	27.5	26.7	15.6	17.9	5.2	-	5.2	14.6	10.4	27.3	30.3	23.8	30.9	27.8	27.2	21.6	18.8	21.5	21.7	21.8	16.5
44	18.0	18.1	37.7	22.5	18.6	23.2	22.7	22.7	27.0	24.1	18.5	22.6	14.6	5.2	-	5.6	5.1	21.9	12.6	36.2	40.3	37.3	36.6	30.7	28.3	35.3	31.6	31.4	26.0
45	22.0	21.3	41.7	24.6	22.6	27.1	25.8	25.8	28.1	36.2	22.4	23.9	10.4	14.6	5.6	-	0.7	21.5	19.0	38.6	47.8	40.0	39.4	36.2	31.0	31.6	33.9	32.8	25.9
46	20.6	20.8	40.3	23.2	21.2	25.8	25.3	25.3	29.6	34.9	21.1	23.4	10.8	10.4	5.1	0.7	-	20.0	13.4	38.6	47.8	40.0	39.4	32.1	31.0	31.6	32.9	32.8	28.7
47	36.6	36.7	60.1	39.2	37.2	41.8	41.3	41.3	43.5	42.7	37.1	39.4	27.2	27.3	21.9	21.5	20.0	-	7.2	51.5	55.1	55.5	54.8	51.6	44.5	52.1	51.0	51.9	44.1
48	35.7	35.8	55.4	13.9	36.3	40.9	40.4	40.3	42.6	41.8	36.2	38.4	26.3	30.3	12.6	19.0	13.4	7.2	-	46.7	50.3	50.6	50.0	44.5	39.7	42.2	43.6	43.4	43.5
49	18.8	17.2	36.6	21.4	16.3	8.5	8.0	7.9	14.1	13.7	17.9	20.0	23.8	23.8	36.2	38.6	38.6	51.5	46.7	-	12.1	7.9	7.2	1.9	3.7	2.0	1.9	2.1	6.6
50	27.5	24.7	40.5	16.2	26.1	21.5	18.9	18.9	23.9	24.7	27.7	27.5	30.9	30.9	40.3	47.8	47.8	55.1	50.3	12.1	-	6.6	6.9	14.0	18.5	13.5	14.4	12.7	15.9
51	20.0	19.5	38.6	16.9	18.7	14.1	14.7	14.6	16.4	16.1	20.3	22.4	27.8	27.8	37.3	40.0	40.0	55.5	50.6	7.9	6.6	-	0.7	7.7	10.5	7.3	6.4	6.5	9.7
52	20.7	20.2	36.0	12.4	19.4	14.8	14.2	14.2	17.1	16.7	20.9	23.0	27.2	27.2	36.6	39.4	39.4	54.8	50.0	7.2	6.9	0.7	-	6.7	10.2	7.0	6.1	6.3	9.4
53	16.2	15.7	31.7	11.8	14.8	11.8	7.5	7.3	12.6	12.2	16.4	18.5	21.6	21.6	30.7	36.2	32.1	51.6	44.5	1.9	14.0	7.7	6.7	-	3.3	0.5	0.5	0.8	7.9
54	11.9	15.0	30.7	12.8	14.2	4.7	4.2	4.1	11.8	11.6	15.6	17.7	18.8	18.8	28.3	31.0	31.0	44.5	39.7	3.7	18.5	10.5	10.2	3.3	-	3.0	4.4	4.2	7.5
55	15.7	15.2	32.2	12.8	14.4	7.7	7.5	6.7	12.1	11.7	15.9	19.2	21.5	21.5	35.3	31.6	31.6	52.1	42.2	2.0	13.5	7.3	7.0	0.5	3.0	-	1.4	1.2	8.0
56	15.9	15.4	31.1	12.1	14.6	10.0	8.3	8.2	12.3	12.0	16.2	18.2	21.7	21.7	31.6	33.9	32.9	51.0	43.6	1.9	14.4	6.4	6.1	0.5	4.4	1.4	-	1.6	8.7
57	16.8	16.3	32.0	13.0	15.4	8.6	8.2	8.0	13.2	12.8	17.0	19.0	21.8	21.8	31.4	32.8	32.8	51.9	43.4	2.1	12.7	6.5	6.3	0.8	4.2	1.2	1.6	-	7.9
58	18.4	23.8	37.5	19.9	22.6	15.7	15.7	20.0	18.6	18.3	25.3	27.9	16.5	16.5	26.0	25.9	28.7	44.1	43.5	6.6	15.9	9.7	9.4	7.9	7.5	8.0	8.7	7.9	-

Fuente: Elaboración Propia