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

Heurística de dos fases para reducir el tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las elecciones generales 2021

TESIS

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa

AUTOR

Milkar Manuel QUIÑONES LARA

ASESOR

Dr. Paulo César OLIVARES TAIPE

Lima, Perú

2022



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

Quiñones, M. (2022). *Heurística de dos fases para reducir el tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las elecciones generales 2021*. [Tesis 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	Milkar Manuel Quiñones Lara
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71862884
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Paulo César Olivares Taipe
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10288397
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9989-0709
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Sonia Esther Castro Ynfantes
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06736632
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Rocío Soledad Gutiérrez Curo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	44093729
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.3.3.1. Optimización Matemática

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	NOVIEMBRE 2022
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02

Anexo 6

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA

En la Ciudad Universitaria, Facultad de Ciencias Matemáticas, siendo las 17:00 horas del día viernes 25 de de noviembre del año 2022, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado Evaluador de Tesis:

Mg. Sonia Esther Castro Ynfantes (Presidente)
Mg. Rocío Soledad Gutiérrez Curo (Miembro)
Dr. Paulo César Olivares Taipe (Miembro-Asesor)

Para la sustentación de la Tesis intitulada: HEURÍSTICA DE DOS FASES PARA REDUCIR EL TIEMPO DE RECORRIDO EN LA DISTRIBUCIÓN DE MATERIAL ELECTORAL AL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA EN LAS ELECCIONES GENERALES 2021, presentado por el señor Bachiller MILKAR MANUEL QUIÑONES LARA, para obtener el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Luego de la exposición de la Tesis, la Presidenta invitó al expositor a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los miembros del jurado, el expositor mereció la aprobación de (Indicar según la Tabla de calificaciones) con un calificativo de mención honrosa promedio de (dieciséis) (16).

A continuación, los miembros del jurado, dan manifiesto que el participante señor Bachiller MILKAR MANUEL QUIÑONES LARA, en virtud de haber aprobado la sustentación de su tesis, será propuesto para que se le otorgue el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Siendo las17: 40 horas, se levantó la Sesión, firmando para constancia la presente Acta en tres (3) copias originales o archivo PDF.

PRESIDENTE
Mg. Sonia Esther Castro Ynfantes

MIEMBRO
Mg. Rocío Soledad Gutiérrez Curo

MIEMBRO-ASESOR
Dr. Paulo César Olivares Taipe

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026- 2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de lasiguiente dirección web: **https://spsgd.unmsm.edu.pe/verifica/inicio.do** e ingresando el siguiente código de verificación: **FVCRJUX**

Firmado digitalmente por VELASQUEZ PINO Carmela Catalina FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.11.2022 23:22:15 -05:00

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: Dr. Paulo Cesar Olivares Taipe
2. Documento evaluado:
   HEURÍSTICA DE DOS FASES PARA REDUCIR EL TIEMPO DE RECORRIDO EN LA DISTRIBUCIÓN DE MATERIAL ELECTORAL AL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA EN LAS ELECCIONES GENERALES 2021
3. Autor de la tesis: MILKAR MANUEL QUIÑONES LARA
4. Fecha de recepción de la tesis: 27/11
5. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes: 29/11
   - Software utilizado: Turnitin
6. Configuración del programa detector de similitudes:
   - Excluye textos entrecomillados
   - Excluye bibliografía
   - Excluye cadenas menores a 40 palabras
7. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes:
8. Fuentes originales de las similitudes encontradas: 8%
   Fuentes de internet: 8%
   Publicaciones: 2%
9. Calificación de originalidad:
   - El documento mencionado cumple criterios de originalidad, sin observaciones

Lima, 29 de noviembre 2022

Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino
Directora

DEDICATORIA

A mis padres, Noemi Lara y Julian Quiñones, porque siempre creyeron en mí y me brindaron su amor, cariño y apoyo incondicional.

A mis hermanos por inspirarme y apoyarme cuando comencé mi vida universitaria.

A mis queridos amigos; que siempre me animaron a alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos por el constante aliento y apoyo para que pueda culminar con éxito mi carrera profesional.

A mi tutor, el Dr. Paulo César Olivares Taipe que me apoyó de principio a fin en la elaboración de este trabajo y ser parte de mi formación profesional.

A los excelentes docentes de la facultad que me formaron con el temple y la sabiduría durante todos estos años de estudio.

A mis queridos amigos que tuve el privilegio de conocer durante esta etapa universitaria.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y a la Facultad de Ciencias Matemáticas por ser mi alma máter.

RESUMEN

La presente investigación plantea un modelo del problema de ruteo de vehículos, con la finalidad de minimizar el tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021, otorgando 96 locales de votación a rutas definidas de entrega, teniendo en cuenta una flota de vehículos con capacidad homogénea.

Se propone la heurística de dos fases (asignar primero-rutear despues) para encontrar la solución a la problemática actual de distribución, programándose el algoritmo de Clarke and Wright y el algoritmo de Búsqueda Tabú de la fase I y fase II, respectivamente, en el lenguaje de programación Visual Basic, utilizándose el software Visual Studio. Se realizó la corrida del programa y se evidenció que la fase I reduce en 23 minutos el tiempo de recorrido actual y luego con la fase II logra reducir 87 minutos más. obteniéndose un ahorro total de 110 minutos entre la situación actual y encontrada. Esta disminución representa el 7,83% del tiempo de recorrido y costo en combustible. Esta investigación, aspira ilustrar como la optimización de rutas a través de la heurística de dos fases, puede reducir el costo de la logística de distribución de una empresa.

Palabras clave: Heurística de dos fases, Tiempo de recorrido, Clarke and Wright, Búsqueda Tabú, Elecciones Generales.

ABSTRACT

The present research proposes a model of the problem of vehicular routing, in order to minimize travel time in the distribution of electoral material to the district of Puente Piedra in the general elections of 2021, granting a total of 96 polling stations to defined delivery routes, taking into account a fleet of vehicles with homogeneous load capacity.

The two-phase heuristic (assign first -path later) is proposed to find the solution to the current distribution problem, programming the Clarke and Wright algorithm and the Taboo Search algorithm of phase I and phase II, respectively, in the Visual Basic programming language, using the Visual Studio software. The execution of the program was carried out and a decrease of 7.83% of the travel time and fuel cost of the routes in the distribution was evidenced. This research aims to illustrate how route optimization through two-phase heuristics can reduce a company's travel time and cost of distribution logistics.

Keywords: Two-phase heuristics, Travel Time, Clarke and Wright, Taboo Search, General Election.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN 1
1.1. Introducción 1
1.2. Situación Problemática 2
1.3. Formulación del Problema 5
1.3.1. Pregunta principal 5
1.3.2. Preguntas específicas 5
1.4. Justificación 6
1.4.1. Justificación Práctica 6
1.4.2. Justificación Metodológica 6
1.5. Objetivos 6
1.5.1. Objetivo principal 6
1.5.2. Objetivos Específicos 7
1.6 Limitaciones 7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO 8
2.1. Antecedentes 8
2.1.1. Antecedentes Internacionales 8
2.1.2. Antecedentes Nacionales 10
2.2. Bases Teóricas 12
2.2.1. Logística 12
2.2.2. Distribución de Materiales 12
2.2.3. Ruta Óptima 14
2.2.4. Complejidad De Un Problema Computacional 14
2.2.5. Problema del Agente Viajero TSP 16
2.2.6. El Problema de Ruteo De Vehículos (VRP) 18
2.2.7. Variantes del VRP (Vehicle Routing Problem) 20
2.2.8. Técnicas de Solución del VRP 22
A. Métodos Exactos 22
B. Heurísticas 23
C. Metaheurísticas 27
2.2.9. Software Disponibles 28
2.2.10. Descripción de la Empresa 30
2.3. Definición de Términos Básicos 30

CAPITULO III: HIPOTESIS Y VARIABLES 32
3.1. Hipótesis 32
3.1.1. Hipótesis General 32
3.2. Variables 32
3.2.1. Definición conceptual 32
3.2.2. Operacionalización de Variables 33
CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 34
4.1. Tipo de Investigación 34
4.2. Nivel de Investigación 34
4.3. Diseño de Investigación 34
4.4. Enfoque de Investigación 35
4.5. Población, Muestra y Muestreo 35
4.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 36
4.7. Procedimiento de la Recolección de Datos 36
4.8. Técnica para el procesamiento y análisis de Datos 37
CAPITULO V: RESULTADOS 38
5.1. Presentación y Análisis de Resultados 38
5.1.1. Mapeo de Locales de Votación 39
5.1.2. Matriz de Distancias Euclidianas 40
5.1.3. Matriz de tiempo de recorrido 43
5.1.4. Programación de los Algoritmos de la heurística 2 fases. 44
5.1.5. Rutas Utilizadas por los Camiones 46
5.1.6. Resultados de la Fase I - Algoritmo De Clarke And Wright 52
5.1.7. Resultados de la Fase II - Algoritmo de Búsqueda Tabú 56
5.1.8. Comparación de la secuencia a visitar en la fase I y fase II 64
5.2. Prueba de Hipótesis 70
5.2.1. Cuadro Comparativo del Tiempo de Recorrido en las 3 Situaciones. 70
5.2.2. Cuadro Comparativo de costos en las 3 Situaciones. 71
CAPITULO VI: DISCUSIÓN 72
CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 73
7.1. Conclusiones 73
7.2. Recomendaciones 74
REFERENCIAS BIBLIOGRÀFICAS 75

ANEXOS 83

Anexo 1: Matriz de Consistencia 83
Anexo 2: Instrumento de la recolección de datos 84
Anexo 3: Lista de los Locales de Votación con su Respectiva Demanda 85
Anexo 4: Pseudocódigo de la Fase I y Fase II 86
Anexo 5: Matriz de distancias euclidianas 90
Anexo 6: Matriz de tiempo de recorrido 91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 ..... **15**
Figura 2 ..... **20**
Figura 3 ..... **20**
Figura 4 ..... **38**
Figura 5 ..... **39**
Figura 6 ..... **40**
Figura 7 ..... **42**
Figura 8 ..... **43**
Figura 9 ..... **44**
Figura 10 ..... **45**
Figura 11 ..... **45**
Figura 12 ..... **48**
Figura 13 ..... **49**
Figura 14 ..... **49**
Figura 15 ..... **50**
Figura 16 ..... **50**
Figura 17 ..... **51**
Figura 18 ..... **51**
Figura 19 ..... **52**
Figura 20 ..... **53**
Figura 21 ..... **53**
Figura 22 ..... **55**
Figura 23 ..... **56**
Figura 24 ..... **57**
Figura 25 ..... **57**
Figura 26 ..... **58**
Figura 27 ..... **59**
Figura 28 ..... **60**

Figura 29 ..... **61**
Figura 30 ..... **62**
Figura 31 ..... **64**
Figura 32 ..... **64**
Figura 33 ..... **65**
Figura 34 ..... **65**
Figura 35 ..... **66**
Figura 36 ..... **66**
Figura 37 ..... **67**
Figura 38 ..... **67**
Figura 39 ..... **68**
Figura 40 ..... **68**
Figura 41 ..... **69**
Figura 42 ..... **69**

LISTA TABLAS

Tabla 1 ..... **33**
Tabla 2 ..... **36**
Tabla 3 ..... **47**
Tabla 4 ..... **54**
Tabla 5 ..... **63**
Tabla 6 ..... **70**
Tabla 7 ..... **71**

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Uno de los principales objetivos de las empresas distribuidoras u operadores logísticos es controlar y reducir los costos que incurre en el transporte para mantenerse en un mercado altamente competitivo.

En la investigación de operaciones la herramienta como la optimización de redes para los problemas de ruteo de vehículos (VRP) son ahora cada vez más importantes porque permiten determinar la ruta de la manera más eficiente, reduciendo así el tiempo de viaje y los costos de transporte.

El presente trabajo tiene como objetivo reducir el tiempo de recorrido actual de la distribución de material electoral mediante la heurística de dos fases (asignar primero-rutear después) desde el depósito de la ONPE ubicado en Lurín hasta los locales de votación del distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021.

La heurística expuesta en el actual marco teórico y el empleo del software Visual Studio para la programación de los algoritmos nos permiten encontrar la solución.

A continuación, se presentan los contenidos de los capítulos:

En el capítulo I. Este capítulo presenta la situación problemática, justificación del problema, objetivos y limitaciones.

En el capítulo II. Este capítulo contiene antecedentes nacionales e internacionales, bases teóricas y definición de términos básicos de la investigación.

En el capítulo III. Este capítulo presenta la hipótesis, variables y operacionalización de las variables.
En el capítulo IV. Este capítulo trata de la metodología de la investigación, es decir, se define el tipo, nivel, enfoque, el diseño, población y muestra, técnicas para la recolección datos, técnicas para el procesamiento y análisis de datos.
En el capítulo V. Este capítulo se presenta y se analiza los resultados de las rutas optimizadas y se prueba de hipótesis
En el capítulo VI. Este capítulo se presenta la discusión de los resultados obtenidos.
En el capítulo VII. Este capítulo se presenta las conclusiones, recomendaciones y finalmente la bibliografía y anexos.

1.2. Situación Problemática

Los procesos electorales para decidir quién va a asumir puestos políticos por disputa popular se realiza cada cierto periodo en los diferentes países del mundo y esto requiere un ejercicio inmenso de la logística para la planificar, organizar, controlar y transportar el material electoral a su destino en su momento pertinente y en perfecto estado. Considerando que las condiciones geográficas y densidad poblacional son diferentes en cada país, por lo que las organizaciones electorales y de transporte encargadas de este proceso de distribución requiere un método tan complejo para reconocer los diversos medios de transportes, aspectos de los territorios, saber cuándo y cómo llegar a los inhóspitos lugares de los países.
La India que lleva a cabo el evento electoral más considerable del mundo. Donde se elige a 543 miembros de la Cámara baja, con la participación de aproximadamente 900 millones de votantes, y más de 1 millón de máquinas de votación en 29 estados y 7 regiones de la Unión. Para transportar materiales y fuerzas policiales hasta llegar al último votante utilizan: Aviones, Helicópteros, trenes, elefantes, camellos, etc. Por la presencia de montañas, desiertos, llanuras y bosques por todas partes. Las Elecciones Generales se celebran en días diferentes para que se pueda desplegar el número necesario de agentes de policía en todos los colegios electorales. (BBC NEWS, 2019)

Una elección comparable es la elección del Congreso de los Estados Unidos que cada dos años, se elige la tercera parte del Senado y Cámara de Representantes con la participación promedio de 312 millones de electores donde presentan dos formas para sufragar desplazarse hasta al centro de votación o voto por correo ejerciendo un gran trabajo de logística. (USAGov en español, 2021)

Perú desde su establecimiento como república, en 1823, conllevó atribuirle a la ciudadanía el voto para decidir al presidente del Perú y miembros del congreso por cada 5 años, o antes en caso de que sean disueltas. El derecho al voto ha padecido diferentes cambios en algunas constituciones en el transcurso del tiempo, siendo la última Constitución de 1993 que establece que el voto es obligatorio y universal para los ciudadanos mayores de 18 años. Desde entonces Perú ha pasado por 66 gobiernos, 24 fueron elegidos por Elecciones Generales,15 por el congreso y 27 por golpe de estado. (Elecciones en Perú, 2021)

En las Elecciones Generales peruanas de 2021, el 11 de abril del mismo año se realizó la elección del mandatario de la República,130 miembros del congreso y 5 parlamentarios andinos para el siguiente plazo de 5 años de gobierno. Donde participaron 18 partidos políticos con un padrón de 25 287 954 electores aprobados por el Registro Nacional de Identificación y Estado Civil (RENIEC). Donde cada distrito a nivel nacional tiene sus locales de votación distribuidos de tal manera que todos los votantes pueden llegar para emitir su voto. (Elecciones Generales 2021, 2021)

La pandemia por la COV-19 provocó varios cambios logísticos en la Oficina de Procedimientos Electorales Nacionales (ONPE). Esto con el fin de evitar aglomeraciones y posibles contagios por el virus, en los años anteriores se utilizaba un promedio de 5 mil locales de votación a nivel nacional asignando a cada aula 2 mesas de sufragio, pero por la coyuntura se llegó ampliar a 12 mil locales de votaciones incluyendo instituciones educativas privadas, estadios y lozas deportivas asignando 1 mesa de sufragio por aula. (El Comercio, 2021)

La distribución de los materiales electorales hasta las zonas más distantes de todo el país es todo un desafío necesitó la coordinación entre diferentes entidades como la ONPE, Fuerza Policial y la empresa contratada de transporte. El material electoral debió llegar al local de votación hasta un día antes de realizarse las elecciones, Para llegar a los rincones más lejanos del país se tardan hasta una semana debido a la misma geografía peruana que presenta cordilleras y selvas. (Euronews, 2021)

En Lima un total de 180 camiones y 360 efectivos policiales con todos los protocolos de bioseguridad desde su almacén ubicado en Av. Los Eucaliptos-Lurín se hizo la distribución de material electoral para 2 919 locales de votación. (Tvpe noticias, 2021), “Donde para el distrito de Puente Piedra se distribuye el material electoral a 96 locales de votación para un total de 838 mesas y 251 400 electores”. (ONPE, 2021)

Cada local de votación solicitó cierta cantidad de material electoral como: cajas de sufragio, cabinas de votación, cajas de reserva, paquete del coordinador, paquete con señales y rótulos, refrigerio y ánforas plegadas esto acuerdo a la cantidad de mesas en dicho local.

Mediante una entrevista se constató que la empresa contratada para la distribución asignó 6 camiones Hino modelo FC con capacidad de carga de 300 paquetes. Sin embargo, el proceso de programar la distribución de material electoral se efectuó de modo empírico, contando con la destreza del chofer y del personal de la ONPE para proveer los materiales a sus respectivos locales de votación sin tomar en cuenta de ocupar la capacidad máxima de cada vehículo, secuencia ordenada de llegada a los locales de votación, esto con el fin de minimizar el tiempo recorrido para generar menor consumo de combustible, jornada laboral, tiempos de entrega, entre otros. por ello se buscó realizar un modelo de ruteo idóneo considerando emplear la capacidad máxima de los vehículos y entregar la cantidad de material electoral solicitada por cada local de votación. ¿cómo será posible reducir el tiempo de recorrido en la distribución?, ¿A qué variante pertenece este problema de ruteo ?,¿cómo se resolverá el problema de ruteo de vehículos?

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Pregunta principal

¿Es posible con la heurística de dos fases reducir el tiempo de recorrido actual en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021?

1.3.2. Preguntas específicas

¿Qué algoritmos será necesario aplicar en la heurística de dos fases para optimizar el tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021?

¿Cuáles son los tiempos de recorrido entre los locales de votación del distrito de Puente Piedra y el centro de distribución en las Elecciones Generales 2021?

¿Qué software se utilizará para generar un modelo de rutas que logre reducir el tiempo de recorrido actual en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021?

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación Práctica

La presente investigación se desarrolló para optimizar el tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021, así poder ayudar con la disminución de tiempo de entrega, costos de combustible y dejar de hacerlo de manera empírica. Lo cual se diseñó un modelo de rutas a través de la aplicación de la heurística de dos fases.

1.4.2. Justificación Metodológica

Para efectos del estudio, el modelo de rutas basado en la heurística de dos fases en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021. Sirve para la utilización en otras investigaciones y empresas en dicho rubro que desconozcan alguna técnica de optimización de rutas. Como también el enfoque, diseño e instrumento de recolección de la información son correctos para este tipo de investigación.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo principal

Reducir el tiempo de recorrido actual mediante la heurística de dos fases en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021.

1.5.2. Objetivos Específicos

Identificar algoritmos de la heurística de dos fases necesarios para optimizar el tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021.

Ubicar el centro de distribución y locales de votación del distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021 en Google Maps con sus respectivos tiempos de recorrido entre cada punto de origen y destino.

Identificar un software que se utilizará para generar un modelo de rutas que optimice el tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021 con los algoritmos de la heurística de dos fases.

1.6 Limitaciones

Esta investigación se enfocará en proponer soluciones, utilizando rutas generadas con heurísticas y complementadas por Google Maps a las empresas distribuidoras con un solo centro de distribución que cuenten con una flota de camiones de capacidad homogénea, independientemente de las ventanas de tiempo.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Naranjo, Y & Zamora, C, (2019) en su investigación que lleva por título "Propuesta de ruteo para vehículos de carga en la distribución de productos en la empresa LA EMPERATRIZ S.A.S". De tipo aplicado y diseño experimental, tuvieron como objetivo aplicar un diseño de enrutamiento de vehículos que permite optimizar los costos en el proceso de entrega. La Empresa LA EMPERATRIZ S.A.S ubicada en Bogotá – Colombia produce y comercializa alimentos para escolares; cuenta con su propia flota de 8 camiones con capacidad homogénea de 5 toneladas para distribuir de lunes a sábado a 26 clientes a nivel nacional; el costo de distribución representa el 6,5 % de los costos totales del funcionamiento de la empresa. Encontró las distancias y costos de las 12 rutas actuales a través de Google Maps, realizó un mapeo de dichos puntos para obtener la matriz de distancias y para dar solución a este problema de ruteo de vehículos capacitado (CVRP) utilizó el algoritmo de ahorros desarrollado en Microsoft Excel, utilizando la herramienta Visual Basic. De lo cual obtuvieron como resultado la disminución de dos rutas que vendría generando una disminución de S/ 20 888 a S/ 19 816 soles mensuales. Se concluye que no solo hubo una reducción del costo sino también recursos materiales necesarios para la distribución.

Acarapi, F, (2018) en su investigación de tipo exploratorio no experimental titulado "Diseño de un sistema de logística de distribución en el desayuno escolar en la ciudad La Paz para la empresa pública productiva Lacteosbol". Su objetivo fue diseñar un sistema de distribución y logística en el área de desayuno escolar de la ciudad La Paz de acuerdo con las necesidades

de Lacteosbol, para optimizar las distancias recorridas, el control eficiente del almacén y garantía de seguridad de los productos distribuidos. Lacteosbol distribuye los productos de “Ración Líquida” como leche entera y yogurt probiótico a 357 unidades educativas en tres turnos: en la mañana 195 unidades, tarde 134 unidades y noche a 28 unidades. El costo logístico representa el 45 % de los costos totales ya que no cuenta con una flota de transporte propia, subcontratando 15 vehículos con capacidad homogénea. Para obtener las coordenadas geográficas de cada unidad educativa se utilizó Google Maps encontrando la matriz de distancia simétrica. Se aplicó el algoritmo Clarke and Wright en el software “VRP Solver v1.3” para los dos primeros turnos y “VRP Spreadsheet Solver v3.01”. para el turno nocturno. De lo cual obtuvieron como resultado la reducción de 32 a 16 rutas; en el turno mañana se reduce de 15 a 9 rutas, tarde de 15 a 5 rutas y en la noche se mantiene igual a 2 rutas; en cuanto a los costos se llega a ahorrar cerca de S/ 5 272 .80 soles por día. Se llega a la conclusión que la aplicación de la heurística de ahorros para la de optimización logró reducir los costos de distribución mejorando los procesos y subprocesos dentro del almacén haciendo viable y rentable el diseño de logística para la empresa Lacteosbol.

Arianty, J, (2019) en su investigación que lleva por título “algoritmo de ahorro de Clarke and Wright para optimización de ruta de distribución de agua embotellada”. De tipo aplicada, nivel explicativo y diseño no experimental. Tiene como objetivo optimizar las rutas de distribución de agua embotellada conforme a la demanda solicitada por los clientes y la capacidad de carga del vehículo. La empresa TSM (Tirta Sumber Menaralestari) que se encarga de distribuir los productos de agua potable en envases con la marca AQUA en la zona de Sumbagut a 25 clientes de la ciudad de Medan -Indonesia cuenta con tres vehículos con capacidad homogénea de 400 cajas. Las distancias entre clientes se desarrollaron con ayuda de Google Maps. Usa la heurística de Clarke and Wright para agrupar los clústers luego ordena los clústers para obtener las rutas utilizando el algoritmo del vecino más cercano. De lo cual obtuvo como resultados la reducción de la distancia recorrida que pasó de 63,51 Km a 56,15 Km representando un ahorro de 11,59 %. Se concluye que el algoritmo de ahorros puede minimizar la distancia recorrida para la distribución de agua potable embotellada.

Bedoya, P. & Forero, A, (2020) en su investigación de tipo descriptiva con diseño no experimental titulado “propuesta de ruteo de vehículos aplicado a una empresa de rutas escolares en Bogotá D.C”. Su objetivo fue proponer un modelo de ruteo de vehículos para planificar las rutas escolares de la empresa. Mejorar este proceso aplicando diferentes métodos cuantitativos, reduciendo así el tiempo y / o distancia total del transporte de la flota. La empresa tiene un total de 136 alumnos en turno mañana y turno tarde para recoger y cuenta con 11 vehículos con capacidad homogénea de 18 estudiantes. Para la obtención de datos hace uso de la plataforma Google Cloud Platform por medio de APIs y la implementación de un Bot de Web Scraping, genera clúster con el criterio de cercanía y luego hace el ruteo con el método exacto TSP y el algoritmo de ahorros. Como resultado, obtuvieron una disminución de la distancia a recorrer de 40,04% y 30,42% en el tiempo de recorrido para el turno mañana; para el turno tarde, un ahorro de la distancia y tiempo recorrido de 43,86% y 34,02% respectivamente. Se concluye que el algoritmo de ahorros cumple con el objetivo propuesto dado que no requiere licencia, obtiene resultados cercanos al óptimo y puede ser aplicable para futuras versiones con mayor capacidad de rutas.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Mogollon, F. & zafra, A, (2019) en su investigación de tipo descriptiva y longitudinal con diseño no experimental titulado “Diseño de un modelo de distribución y transporte y su impacto en los costos del centro de distribución de la empresa Costa Gas S.A.C”. Su objetivo fue diseñar un modelo para la distribución para balones de gas y ver cómo influye en los costos de dicha empresa ubicada en Trujillo -Perú. Tiene como población y muestra todas las unidades de transporte que cumplan con su recorrido; La empresa cuenta con 5 vehículos con capacidad homogénea de 8 Tn para distribuir a 16 destinos. Realizó un mapeo de dichos puntos para obtener la matriz de distancias y se consideró la implementación de la heurística de ahorros para dar solución a este problema de ruteo de vehículos aplicando el software Grafos v.1.3.5.

De lo cual obtuvieron como resultado una notable reducción de los costos. El costo mensual actual es de S/ 2 047.90 soles que comparado con el diseño propuesto es de S/1 697.82 soles, esto representa una disminución en 17.09 %. Se concluye que se cumplió el objetivo planteado de la reducción de costos aprovechando a lo máximo la flota de vehículos.

Julcapari, J, (2018) en su investigación que lleva por título “Sistema web para la gestión de rutas de transporte basado en el algoritmo de Clarke and Wright en ICR PERÚ”. De tipo aplicado, diseño preexperimental y enfoque cuantitativo. Tuvo como objetivo elaborar para la gestión de rutas de transporte un sistema web apoyado en el algoritmo de ahorros en la empresa ICR PERÚ. Tiene como población 60 fichas de registro, uno por día para los indicadores de distancia, costos y tiempos de las rutas y toma una muestra de 52 registros. La empresa cuenta con vehículos de capacidad de 4 Tn para entregar a 14 clientes donde realizan pedidos diarios de productos frente a incendios. Con el sistema web implementado el algoritmo de ahorros obtuvieron como resultado una apreciable reducción de las distancias, costos y tiempos en los 52 días, de una distancia media de 91.16 km a 87.31 km, El costo disminuyo de una media de S/68.66 a S/61.18 soles, El tiempo recorrido disminuyó de una media de 484 minutos a 461 minutos en un 4,75%. Se llega a concluir que el desarrollo del sistema web implementado la heurística de ahorros fomentó un progreso en la operación de gestión de rutas disminuyendo los tres indicadores: tiempo, costo, distancia.

Rivera, F, (2019) en su investigación titulado “Propuesta de rutas optimizadas para el recojo de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Jauja en el año 2018”. Está es de tipo aplicada, nivel explicativo y diseño preexperimental. Tuvo como objetivo sugerir un diseño de rutas optimizadas para recaudar residuos sólidos de los domicilios en la localidad de Jauja, empleando como método el problema del agente viajero. La población que considera son todas las calles de dicho distrito; la muestra son las calles que constituyen 16 barrios de dicho distrito, considerando 293 nodos establecidos por el cruce de las calles.

La Municipalidad Provincial de Jauja tiene 3 vehículos asignados al recojo de residuos sólidos en los turnos día y tarde, realiza el mapeo de la ciudad de jauja ubicando las esquinas para los nodos en seis sectores siguiendo el manual urbano que dice que a lo más debe tener 70 manzanas cada sector. Se resuelve con el software Lingo un problema de agente viajero para cada ruta. De lo cual obtuvo como resultado que las rutas encontradas alcanzan a ahorrar S/ 32 718.13 soles anuales en combustible y disminuir en un 48.8% el tiempo de recolección. Se concluye que la sugerencia de las 6 recientes rutas de recojo optimizadas con el método del Agente Viajero, logra disminuir la distancia recorrida y el tiempo de recolección.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Logística

Forma parte en la operación de la cadena de suministro llevando a cabo la planificación, ejecución, control del almacenamiento, distribución y transporte de manera racional productos tangibles e intangibles desde el lugar originario al lugar de consumo para atender las necesidades de los clientes. (Ballou, 2004)

2.2.2. Distribución de Materiales

“Se comprende como una serie de actividades que manejan el flujo de productos concluidos en el proceso de fabricación hasta la llegada del producto a manos del cliente”. (Gutiérrez, 1998)

La distribución se puede asumir como una operación de marketing dirigida a acelerar y ayudar a la provisión de bienes o servicios desde los fabricadores a los clientes finales de acuerdo con la demanda, tipo, precio, ubicación y tiempo consistente y necesario. (Tjiptono, 2008)

“El transporte se considera un elemento que agrega valor y ventaja competitiva a la empresa que maneja productos o servicios”. (Ballou, 2004)

Existe una variedad de métodos de transporte en la distribución, los cuales deben seleccionarse de acuerdo con los siguientes criterios: el tipo de flota a utilizar, el tipo de material a transportar, la distancia de transporte, medio de transporte, el tiempo de transporte y el costo de transporte. (Ballou,2004)

Para (Anaya ,2007), los cuatro elementos esenciales en la distribución son: trámite de pedidos, control de inventario, transporte y manipulación de mercancías.

En el transporte intervienen las siguientes variables que indican el nivel de servicio en las empresas:

Tiempo de recorrido: Es el tiempo que emplea un vehículo en desplazarse desde un punto a otro punto fijo.

Distancia de Recorrido: Es el espacio recorrido en el transporte de la mercadería desde el almacén a todos los destinos.

Costo de Transporte: Del total de los costos logísticos, entre un tercio o dos tercios es el costo de transporte. Por eso es necesario enfatizar el análisis de rutas que pueden reducir estos costos como: personal, combustible, carreteras, mantenimiento y otros; habiendo costos fijos y costos variables. (Ballou,2004)

Por lo tanto, se debe optimizar el tiempo y distancias en las diversas operaciones de transporte. Para ello se han desarrollado diversos métodos para el diseño y optimización de rutas. ya que estas dependen del correcto diseño de las rutas.

2.2.3. Ruta Óptima

Como afirma Ballou (2004), “la ruta optima es la mejor secuencia que debe seguir los vehículos en carreteras, líneas ferroviarias, líneas navieras o navegación aérea para minimizar el tiempo de recorrido”.

Teniendo en cuenta a Mauleón (2013), señala que el propósito de diseñar una ruta óptima es maximizar la eficiencia en base a las siguientes pautas: uso máximo de la capacidad los vehículos, minimizar el tiempo de recorrido y maximizar el número de entregas por unidad de tiempo.

De acuerdo con Robusté (2005), sostiene que para conseguir una ruta que va desde el punto de salida hasta el punto final y que sea el más adecuado. se resuelve de diferentes formas, no se puede estar seguro de que el diseño de la ruta sea el debido. Por lo tanto, se determina que es imposible optimizar el sistema de transporte a través de un solo método.

2.2.4. Complejidad De Un Problema Computacional

La complejidad computacional verifica el trabajo o el costo requerido para resolver el problema de manera efectiva. Cuando resuelve un problema, busca la mejor solución a partir de una variedad de posibles soluciones llamadas espacio de búsqueda. Los diferentes niveles de complejidad dependen del modelo computacional, estructura de datos y los recursos accesibles. (Phillips et al ,1976)

Según (Phillips et al ,1976) los problemas de acuerdo con su complejidad lo definen así:

Complejidad P. Son problemas manejables que se pueden resolver en tiempo polinomial con una máquina de Turing determinista (un mecanismo lógico que descompone los cálculos en operaciones iterativas y simples) utilizando algoritmos polinomiales.

Complejidad NP. Son problemas intratables que se resuelven utilizando máquinas de Turing no deterministas, verificando hipótesis como soluciones.

Donde la solución ideal supera la complejidad del polinomial. Este enfoque no determinista aplica heurísticas para obtener soluciones hipotéticas que son rechazadas o aceptadas a ritmo polinomial.

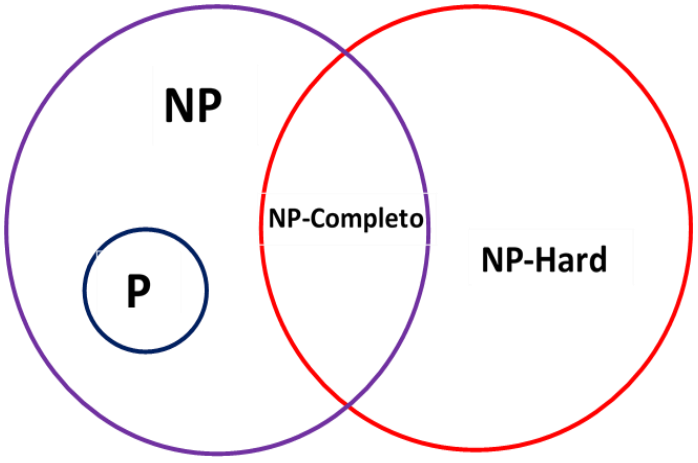
Clase NP-Completo. Un problema de decisión D es NP-Completo sí es un problema NP y que es tan complejo de solucionar como la clase NP.

Clase NP-Hard. Un problema de decisión D es NP-Hard si pertenece a un NP-Completo y si es al menos tan complicado como otro problema NP.

En la figura 1 se resume lo anterior:

Figura 1

Problemas de Complejidad Computacional



Nota. Tipo de problemas según su complejidad. Adaptada según Paul Yun,2019. https://medium.com/@p.yun1994/p-np-np-hard-and-np-complete-problems-fe679bd1cf9c.

Esto ha conducido a examinar alternativas de opción a problemas de clase NP, lo cual ha enfocado al recurso de métodos no exactos (Heurísticos y Metaheurísticos) que ofrecen una respuesta a estos problemas.

2.2.5. Problema del Agente Viajero TSP

No hay restricciones de tiempo o demanda en este problema, solo involucra un vehículo que visita a todos los clientes una sola vez, saliendo y regresando del mismo cliente que partió. Con el menor costo, tiempo o distancia posible.

Situándose en el grupo NP-Hard, las posibles soluciones se encuentran por permutaciones de los n clientes por visitar. Una generalización de este problema es el ruteo de vehículos. (Daza et al., 2009)

Presentamos dos algoritmos para resolver problemas de TSP:

Algoritmo del Vecino Más Cercano

Consiste en añadir un conjunto de nodos en función de lo cerca que estén de su posición en el espacio, agregando de forma secuencial desde el nodo inicial y seleccionando el nodo más cercano al nodo actual, independientemente de los que ya formen parte de la secuencia. (Problema del Agente Viajero – TSP, s.f)

Este algoritmo en cada iteración examina al vecino más cercano al nodo actual, lo agrega a la secuencia y realiza otra iteración. Una vez que se agregan todos los nodos a la ruta, el ciclo se cierra regresando al origen. Es uno de los más sencillos de ejecutar, por lo que no asegura la mejor solución dado a la complejidad que expone cada problema, pero aun así es muy eficiente, útil y rápido. (Contreras & Díaz, 2010)

Algoritmo de Búsqueda Tabú

Implica realizar una búsqueda local para aceptar la solución y mejorar el resultado del tiempo o distancia de modo que, en las iteraciones del algoritmo, pase de una solución (Sx) a una solución (Sx + 1) superior, dado un área de soluciones. Puesto que S (x + 1) no es forzosamente la distancia o tiempo de recorrido más bajo, la memoria a corto plazo se usa para registrar ciertas propiedades de las soluciones que se han visitado para evitar caer en bucles.

Estas soluciones prohibidas se denominan soluciones tabúes, generadas por los movimientos tabú. En ciertos casos se emplea el criterio de aspiración para aceptar las soluciones tabúes porque presentan mejoras a diferencia de las otras soluciones, a esto se denominan soluciones admisibles. (Muñoz, 2009)

Según (Orjuela, 2011) El proceso debe satisfacer a los seis criterios siguientes:

- Algoritmo de búsqueda local: Desarrolla una solución inicial, los nodos en cualquier orden, para iniciar la iteración.
- Estructura de vecindad: Se generan y se elimina dos arcos de la solución actual, tener en cuenta si se descarta la ruta que únicamente invierte la orientación de la ruta.
- Agregar movimiento tabú: en cada iteración, los dos arcos generados en la solución actual se agregan a una lista llamada tabú.
- El tamaño máximo de la lista tabú: Condición para que los arcos añadidos dado un cierto tiempo en la lista se retiren.
- Movimiento de forma tabú: Si dos arcos a eliminar se encuentran en la lista Tabú, el viaje se convierte en tabú.
- Regla de parada: Condición que determina parar las iteraciones puede ser: máxima cantidad de iteraciones o dado un número seguido de iteraciones con la misma solución.

Algoritmo:

1.- Ingrese: Matriz Distancia, Matriz_Tabú, Cant_Iter.

2.- Ingresamos la solución inicial y su respectivo tiempo de recorrido T(x).

3.- While Iter <= Cant_Iter.

3.1.- Actualiza la Matriz_Tabú.

3.2.- Encuentra el tiempo de recorrido nuevo ← OP(x).

3.3.- Se realiza las (n – 1) permutaciones.

3.4.- Encuentra el tiempo de recorrido de cada una de las permutaciones.

3.5.- Reconoce los movimientos tabúes y los no tabú.

3.6.- Selecciona la permutación con menor tiempo de recorrido de los movimientos no tabúes.

3.7.- Si los movimientos son todos tabú, se aplica aspiración. Sino finalizar

3.8.- Actualizar el tiempo de recorrido T(x).

3.9.- Si T(x) < OP(x) se actualiza OP(x), ir 3.1

3.10.- Si en n iteraciones no mejora OP(x), se diversifica-ir a 3.1

4.- El óptimo alcanzado es Op(x).

5.- Fin.

El algoritmo opera en forma iterativa. Hasta cumplir con la regla de parada, observando la solución inicial y la solución final con el fin de ver si ha mejorado, entonces se queda con la solución que cumpla la condición. (López,2011)

2.2.6. El Problema de Ruteo De Vehículos (VRP)

Dantzig y Ramser presentaron por primera vez este tipo de problema en la investigación titulado "Problema de programación de camiones" en 1959. determinando fórmulas matemáticas para resolver estos problemas. Fomentando el interés en la VRP de un equipo de matemáticos a una numerosa gama de investigadores en diferentes disciplinas. (Toth & Vigo, 2002)

“El (VRP), consta que dado una cantidad de vehículos establece una serie de rutas que comienzan y finalicen en uno o más almacenes para cumplir el requerimiento de muchos clientes esparcidos geográficamente”. (Hillier & Lieberman, 2006)

“El (VRP) es un problema del grupo NP completo. Por ello que se utilizan métodos aproximados adquiriendo soluciones viables en tiempo de cálculo razonable”. (Berneo et al., 2009)

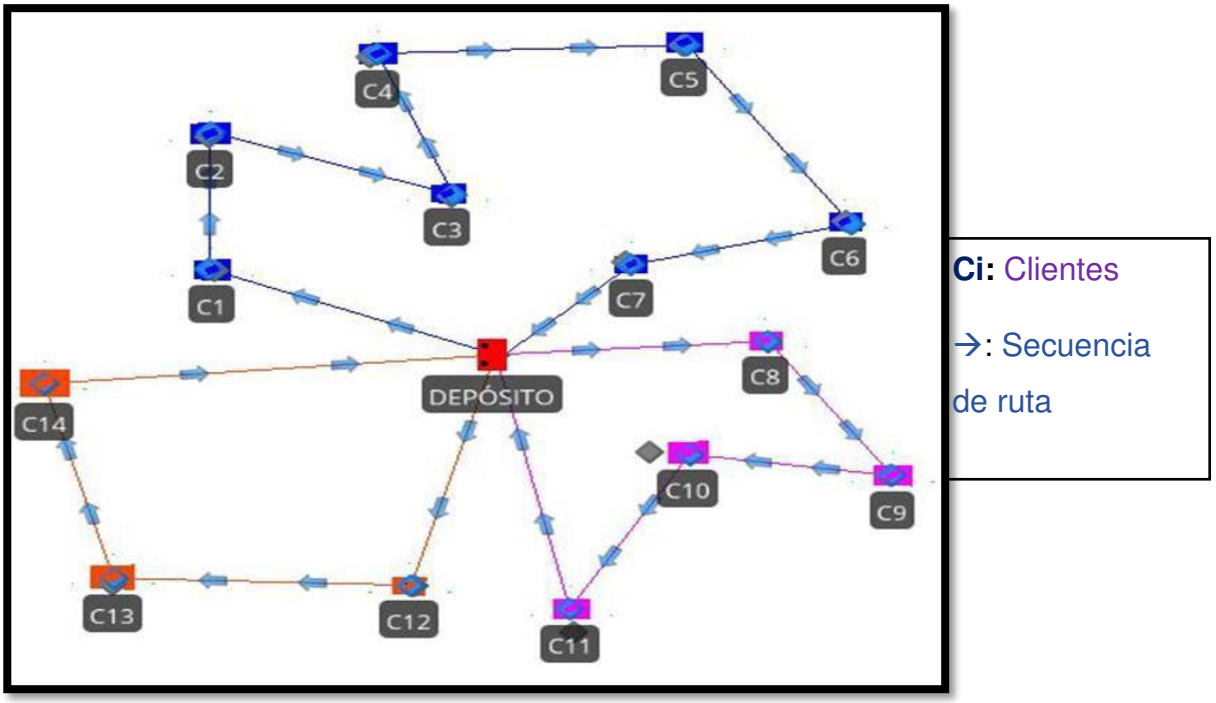
(Olivera, 2004) define las siguientes características del VRP:

- Los Clientes: Son las entidades que requieren una demanda ya sea determinística o estocástica y necesitan ser satisfechos, estos son visitados por los vehículos. En algunos casos su demanda no puede ser cubierto por un solo vehículo en la misma ruta.
- Los Depósitos: Son los almacenes de los productos a distribuir, la salida de los vehículos inicia y terminan ahí. Aunque en algunos casos terminan en el hogar del chofer.
- Los Vehículos: Por las diferentes características que presentan tienen distintas capacidades ya sea en volumen o peso. Normalmente los vehículos tienen un costo fijo y un costo variable, donde el costo variable se debe optimizar en función del tiempo de recorrido.
- Red de transporte: Se muestra en forma de un grafo donde las aristas indican las rutas y los vértices a los destinos.
- Las rutas: Es la secuencia de clientes a visitar considerando las restricciones asociadas y optimizando la función objetivo.

En la figura 2 se contempla estas características:

Figura 2

Representación del Problema de Ruteo de Vehículos



Nota. Elaboración propia, Ci cliente i, donde i=1,2, 3...14.

2.2.7. Variantes del VRP (Vehicle Routing Problem)

Estos problemas del (VRP) son muy extensos, especialmente en la actualidad, porque las diferentes y constantes exigencias de los clientes llevan a que las empresas de abastecimiento dispongan de las mejores opciones para llegar a cumplir con éxito. En la literatura, tenemos una amplia familia de versiones del problema de ruteo vehicular. (Rocha et al., 2011)

Se define las variantes más empleadas del VRP:

Problema con Capacidad Homogénea (CVRP). Cuando una empresa tiene varios vehículos que transportan el mismo peso o, su función es satisfacer las necesidades conocidas de los clientes al menor costo, tiempo o distancia. La limitación en esta variante es que el total de los pedidos que visitan en cada ruta no puede exceder la capacidad del vehículo. (Bianchi et. al, 2004)

Problema con Flota Heterogénea (HVRP). Cuando la empresa tiene una serie de vehículos que difieren en capacidad, estructura. Su objetivo es visitar a todos los clientes haciendo que la demanda total no exceda a la capacidad del vehículo. La flota ya sea una cantidad limitada (HVRP) o cantidad ilimitada (Fleet Size y Mix-FSM) con costos fijos y costos variables. (Gendreau et al, 1999)

Problema con Ventana de Tiempo (VRPTW). Este problema se considera la capacidad limitada, a cada cliente que se va a visitar se asigna un intervalo [x, y] de tiempo, esto se entiende como una ventana de tiempo, La empresa debe de atender dentro del intervalo previamente establecido (solución factible). Si no se cumple habrá el cliente propicia una penalización. Su objetivo es evitar las penalizaciones minimizando el tiempo de recorrido. (Yeun, 2008)

Problema con Múltiples Depósitos (MDVRP). En este problema, existen clientes alrededor de múltiples depósitos y cada depósito cuenta con un conjunto de vehículos con capacidad fija, y a cada vehículo se otorga la ruta que parte y finaliza en el mismo depósito. Se debe cumplir con la demanda de todos los clientes minimizando el tiempo de recorrido. (Olivera, 2004).

Problema de Entregas Divididas con Diferentes Vehículos (SDVRP). Se presenta cuando la demanda solicitada por los clientes sobrepasa la capacidad de carga de los vehículos, siendo cada cliente atendido por más de un vehículo. Se debe cubrir esta demanda utilizando el menor número de vehículos y tiempo de recorrido para satisfacer a todos los clientes.

Problema con Demanda Estocástica (SVRP). Los clientes, demandas o tiempos son aleatorios y tiene por objetivo minimizar el tiempo de recorrido cumpliendo con la demanda solicitada. (Stewart y Golden, 1983)

Problema con Carga de Retorno (VRPB). Este tipo de problema tiene como preferencia acudir primero a entregar (linehaul) los productos a sus clientes, para luego regresar a los que requieran el servicio de devolución (backhaul). Se considera que no supere la capacidad de los vehículos y el reordenamiento de las cargas no es económica ni factible. (Rocha, 2011)

Problema con Entregas y Devoluciones (VRPPD). Se presenta cuando los productos que se tiene que entregar no son los adecuados o tienen fallas haciendo que los clientes lo puedan regresar, estos productos pueden ser los mismos o diferentes. Estos productos fallados deben de caber dentro del vehículo de entrega disminuyendo el tiempo de recorrido. (Yeun, 2008)

Problema con Instalaciones Satelitales (VRPSF). En este problema los vehículos se pueden recargar durante el recorrido de la ruta. Hacen el uso de instalaciones satelitales para reponer a los vehículos para que no tengan que retornar al depósito. permitiendo a los vehículos realizar todas las entregas hasta el cliente final. (Rocha, 2011)

2.2.8. Técnicas de Solución del VRP

Generalmente para solucionar estos problemas de VRP se usa el enfoque exacto o enfoque las heurísticas y metaheurísticas. Depende el tamaño de las instancias para que nos pueda asegurar una respuesta optima con tiempos de ejecución generalmente grandes. (Toth & Vigo,2002)

A. Métodos Exactos

“Este método calcula todas las posibles soluciones hasta alcanzar la mejor.
Iniciando como una formulación de un modelo matemático, encontrando soluciones viables debido al algoritmo de acotamiento en el grupo de soluciones factibles”. (Lüer, 2009)
A continuación, se presenta los siguientes métodos:

- Branch and Bound (Ramificación y Acotamiento)

Utiliza el espacio de solución en los subproblemas y luego optimiza cada subproblema individualmente para obtener el límite inferior del valor óptimo. El límite inferior obtenido se utiliza para delimitar la búsqueda. En la ramificación final del árbol tendremos todas las soluciones completas factibles del problema. (Dastghaibifard, 2008)

"Este enfoque permite cambios en la realidad como CVRP asimétrico, costos variables, ventanas de tiempo y flotas heterogéneas". (Toth, 2001)

- Branch and Cut (Ramificación y corte)

Se basa en calcular simultáneamente los límites extremos de la solución óptima. El límite superior se obtiene resolviendo la relajación lineal asociada a cada nodo del árbol de enumeración y finalmente se ajusta por el plano de corte, mientras que el límite inferior se encuentra mediante métodos heurísticos. (Muñoz, 2009)

B. Heurísticas

Las heurísticas hacen posible alcanzar en un corto tiempo de ejecución una solución de excelente calidad en un problema específico, pero no asegura encontrar la solución óptima. Hace una inspección ligeramente moderada en el conjunto de búsqueda. (Lüer, 2009)

- Método Constructivo

Construye una solución factible paulatinamente, prestando atención al objetivo de la solución, En cada iteración agregará un nodo al recorrido del vehículo, la solución obtenida es una solución factible y debe aplicarse incluso si no es la mejor solución. (Dorronso,2006)

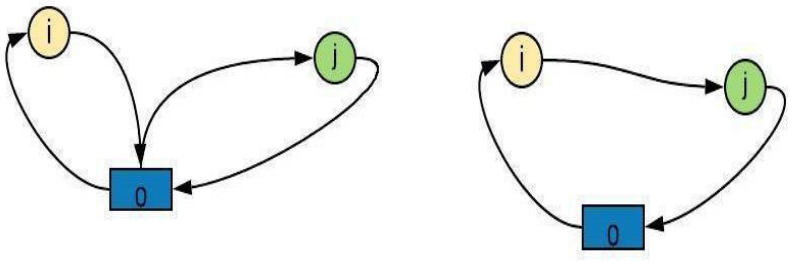
Algoritmo de Clarke and Wright. "Es el algoritmo que fue desarrollado para problemas de tipo CVRP y se utiliza con frecuencia. Tiene como propósito disminuir el costo, tiempo o distancia y la cantidad de vehículos necesarios para servir todos los destinos". (Clarke G. & Wright J. W, 1964)

Esta heurística realiza una revisión limitada en el área de soluciones y proporciona una respuesta bastante aceptable dentro de un plazo de cálculo modesto. Entonces usando un algoritmo del TSP se puede secuenciar las visitas de los clientes que hay en una ruta de viaje para obtener la distancia o tiempo de recorrido mínimo. (Chopra, 2010)

En la figura 3 se observa que si hay dos caminos diferentes (0, ..., i, 0) y (0, j, ..., 0) en una solución. Se puede combinar y formar un solo camino (0, ..., i, j, ..., 0).

Figura 3

Rutas en la Solución del Algoritmo de Ahorros



A través de la combinación se obtiene el ahorro ya sea en costo, tiempo o distancia como:

$$Sij = T0i + Ti0 + T0j + Tj0 - (T0i + Tij + Tj0)$$

$$Sij = T0j - Tij + Ti0$$

El algoritmo de Clarke and Wright según (Olivera, 2004) es el siguiente:

1. Ingresa el número de clientes, capacidad del vehículo, matriz de tiempo o distancia.
2. Se construye una ruta para cada cliente i → (0, i, 0)
3. Se calcula los ahorros Sij de los clientes i y j
4. Se ordena los ahorros Sij de mayor a menor
5. Dado Sij el ahorro máximo que no se ha considerado, entonces las rutas r*i donde i* es el último cliente y la ruta r*j donde j* es el primer cliente resulta factible combinarlas.

   5.1 Si excede la capacidad del vehículo. Ir a 6

   5.2 Elimina Sij para las siguientes iteraciones. Ir a 6
6. Si existe ahorros por examinar regresa a 5. Sino Finalizar

Características: Ofrece agregar novedosas restricciones como: la carga tope de cada camión, ventanas de tiempo y el tiempo de refrigerio del conductor esto para que se pueda modelar una situación más realista. La implementación del algoritmo heurístico es bastante simple. (Ballou, 2004)

- Heurística de 2 fases

Esta heurística comienza con un problema y una solución "vacía", a partir de la cual se puede construir una solución válida. Fraccionando el problema VRP en dos etapas: asignar primero – rutear despues o rutear primero – asignar despues. Mediante varios métodos de solución específicos. (Gillet et al ,1974)

Algoritmo Asignar Primero – Rutear Después. En la primera parte genera un clúster de clientes que se encontraran en la misma ruta final, considerando que la suma total de la demanda en cada clúster de clientes no exceda la capacidad del vehículo. después, Luego se construye una ruta para cada clúster de clientes convirtiéndose en un problema TSP, este problema se puede solucionar de forma exacta o aproximada esto va a depender del númerode clientes en cada ruta. (Olivera, 2004)

Este algoritmo se resuelve con los siguientes algoritmos:

Algoritmo de Barrido (Sweep Algorithm). La ruta factible es rotar un rayo centrado en el depósito e incluir gradualmente al cliente en una determinada ruta hasta alcanzar la capacidad o tope del tamaño de la ruta. Luego comience la siguiente ruta y repita el procedimiento hasta que haya barrido todo. (Gillett & Miller, 1974)

El algoritmo funciona en dos fases: Primero, Hasta completar la carga máxima a transportar cada vehículo se le asigna una parada. A continuación, se define la secuencia que los vehículos acudirán a los destinos. Este algoritmo no puede abordar adecuadamente las limitaciones de tiempo. Sin embargo, genera muy rápido propuestas para estos problemas. (Laporte, 1992)

Algoritmo de Pétalos. Es una extensión del algoritmo de Barrido y se utiliza para especificar muchas rutas denominadas pétalos para tomar la decisión final al resolver el conjunto de particiones del problema. Hay una variedad de rutas R y que accede a cada cliente mediante algunas rutas. Se debe escoger un subconjunto de R para visitar a cada cliente una vez. (Rocha, 2011)

Algoritmo de Clarke and Wright y Búsqueda Tabu para TSP. Estos algoritmos se utilizaron en el desarrollo de esta investigación, la fase I genera los clústers en base a restricciones, la restricción en este problema es la capacidad del vehículo, entonces se emplea el algoritmo de Clarke and Wright ya que soluciona problemas de ruteo de vehículos con capacidad homogénea y limitada. Una vez que se encuentran los clústers, En la fase II se va a secuenciar la ruta de cada clúster para optimizar el tiempo de recorrido, convirtiéndose en un problema de TSP. Por lo que se aplica el algoritmo de Búsqueda Tabu para TSP. Ambos algoritmos están descritos a detalle anteriormente.

Algoritmo Rutear Primero – Asignar Después. En la primera fase encuentra una ruta que incluya al total de clientes sin tomar en consideración alguna restricción del problema; es un problema de TSP. En la segunda etapa, a la ruta se divide en sub-rutas factibles, es decir, considerando la capacidad del vehículo para determinar la mejor partición. (Rocha, 2011)

C. Metaheurísticas

“Es un procedimiento que realiza una inspección más exhaustiva en áreas prometedoras del espacio de soluciones existentes para encontrar la solución”. (Dreo et. al, 2006)

La precisión de las soluciones generadas por las metaheurísticas es mucho mejor que los resultados obtenidos por métodos heurísticos clásicos.

- Algoritmo Colonia de Hormigas

"Este método puede disminuir al mismo tiempo tres objetivos: cantidad de vehículos, la distancia recorrida y el tiempo de entrega". (Doerner, 2002)
Está inspirado en el criterio que cuando una hormiga encuentra alimento, deja una sustancia llamada feromona. Entonces las hormigas persiguen la ruta con el máximo contenido de feromonas ya que es posible llegar más rápido al alimento, esto conducirá a una mejora de la ruta óptima. (Muñoz, 2009)

- Algoritmos Genéticos

Este algoritmo dado un conjunto inicial en cada iteración al fusionarse encuentra descendientes o soluciones padres que mejoran el problema para sustituir a las peores del conjunto. Operan las fases de selección, cruzamiento y mutación. (Bullnheimer et al, 1999)

2.2.9. Software Disponibles

Debido a la complejidad y al mucho tiempo para la cantidad de cálculos para solucionar el problema de ruteo de manera manual se presenta los siguientes softwares:

Logware. Es un compendio de programas que soluciona los problemas de gestión en la cadena de suministro. Entre sus módulos se encuentra el ROUTESEQ (para solucionar un problema de TSP) y ROUTER (para identificar las rutas para una determinada cantidad de vehículos).

Winqsb. Es una aplicación multifuncional que ha pasado a ser en una herramienta indispensable en la investigación de operaciones debido a su
sencillez y capacidad de uso. Entre los módulos incorporados, resalta el Network Modeling (para solucionar un problema de TSP).

VRP Solver V1.3. Desarrolla el algoritmo de Clarke and Wright. Toma la ubicación (coordenadas geográficas) con su respectiva demanda de cada cliente como entrada a un archivo de texto. Después de que se ejecute el modelo, el programa proporcionará un mapa de las rutas y un informe del plan de ruta para cada vehículo. Debido a la flexibilidad y simplicidad el programa se ha convertido en una parte indispensable de la toma de decisiones logísticas.

VRP Spreadsheet Solver V3.0. Es un programa en Excel para representar, resolver y visualizar los resultados de los problemas de generación de rutas para vehículos (VRP) ofrece las opciones de número de depósitos (1-20), Número de clientes (1-200), número de tipos de vehículos, tipo de ventana de tiempo y si el vehículo regresa o no al depósito.

Lenguajes de Programación. "El lenguaje de programación constituido por símbolos, reglas sintácticas y semánticas está dirigido a desarrollar programas informáticos. Diseña y organiza algoritmos y procesos lógicos planteadas en forma de instrucciones". (Raffino,2020)

Java. Se Aplica para construir elementos dinámicos en páginas web. Opera en compañía de otros códigos de programación como el HTML y el CSS.

Python. Se emplea principalmente para desarrollar inteligencia artificial y aplicaciones que se enfocan en el análisis de cantidades masivas de datos.

C++. Aparece como una extensión del lenguaje C, por lo que puede manipular objetos. Se utiliza en navegadores web, video juegos, compiladores y bases de datos.

Visual Basic. Conocido por herramientas más fáciles de usar. Debido a su simplicidad, se usa ampliamente en herramientas de automatización de procesos y aplicaciones web.

2.2.10. Descripción de la Empresa

La empresa J & J TRANSPORTES Y SOLUCIONES INTEGRALES con R.U.C 20524879191 ubicado en el Jr. José de la Mar Nro. 386-Comas cuenta con 20 años de trayectoria operativa y está comprometida con la prestación de servicios de embalado, modulado, mudanzas, almacenamiento, transporte y distribución en las diversas rutas del país. Cuenta con profesionales y una flota de alta calidad. Busca satisfacer las necesidades logísticas de las empresas del sector público y privado de forma personalizada.

En las Elecciones Generales de 2021, la empresa participó en la distribución de material electoral bajo el contrato de la ONPE. manteniendo altos estándares de calidad y brindándoles una atención personalizada y exclusiva.

Donde realizaron las siguientes actividades:

Paso 1: los vehículos ingresan al Almacén.

Paso 2: Los estibadores cargan las cajas a los vehículos. Paso

3: El personal de la ONPE revisa la cantidad de cajas. Paso 4:

El personal de la ONPE verifica la guía de despacho.

Paso 5: Salir a ruta con el resguardo policial y un personal de la ONPE.

Al salir, el conductor y el personal de ONPE define la ruta que va a realizar durante la distribución con la relación de los locales de votación asignados para la entrega.

2.3. Definición de Términos Básicos

Proceso Electoral: Es la serie de acciones efectuados en fases para actualizar cada cierto tiempo a los integrantes de los Poderes Legislativos y Ejecutivos en base a la Constitución política del Perú.

Local de Votación: Lugar donde las personas se acercan a emitir su voto.

Vehículo: Es un medio de transporte que faculta trasladar personas, animales o cualquier tipo de objeto de un lugar a otro.

Cliente: Se comprende como al sitio que se debe destinar a un vehículo para proveer o recolectar un producto.

Depósito: Representa el lugar de donde salen los vehículos para ejercer la distribución.

Operadores Logísticos: Son aquellas organizaciones que ejercen diferentes actividades asociadas en el transporte y almacenamiento de productos para terceros.

Ruta: Es la trayectoria que va desde un lugar a otro. Constituida por dos o más clientes.

Ruteo: Dado un conjunto de rutas se desea elegir a la ruta con menos recorrido desde un lugar de origen a un destino.

Algoritmo: Es una serie de operaciones correctamente establecidas para la solución de algún problema en un número limitado de pasos.

Optimización: Metodología para establecer valores de las variables que intervienen en un problema genere un resultado óptimo.

ONPE: Es la máxima autoridad para planificar, organizar e implementar procesos electorales, referendos y otros tipos de consultas populares. Se encarga de preparar los materiales electorales y distribuirlos desde el almacén de la ONPE a cada mesa de votación bajo el contrato de una empresa de transporte. Trabajando de la mano con el Jurado Nacional de elecciones (JNE) y el Registro Nacional de Identificación y Estado Civil (RENIEC). (ONPE, 2021)

CAPITULO III: HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

La heurística de dos fases permite reducir el tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021.

3.2. Variables

3.2.1. Definición conceptual

Variable Independiente: Heurística de Dos fases (asignar primero - rutear después)

Definición: En la primera fase se genera un clúster de clientes considerando que la demanda total no exceda la capacidad del vehículo. En la segunda fase, se construye una ruta para cada clúster de clientes convirtiéndose en un problema TSP.

Variable Dependiente: Tiempo de recorrido

Definición: Es el tiempo que emplea un vehículo en desplazarse desde un punto a otros puntos fijos.

3.2.2. Operacionalización de Variables

Tabla 1

Operacionalización de las Variables

Variable	Dimensión	Indicadores
Heurística de dos fases	Algoritmo de Clarke and Wright	• Tiempo de recorrido (min). • Costo en Combustible(S/.)
	Algoritmo de Búsqueda Tabu	• Tiempo de recorrido (min). • Costo en Combustible(S/.)
Tiempo de Recorrido	Rutas	• Nº de rutas
	Nº Locales de Votación	• Nº de mesas de Sufragio • Nº de Electores

CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo de Investigación

“La investigación aplicada es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos para resolver problemas”. (Hernández et al, 2014)

Esta investigación es de tipo aplicada ya que a través de teorías prevalecientes se aplicará para alcanzar un resultado práctico de un problema.

4.2. Nivel de Investigación

Hernández et al. (2014) mencionan que la investigación explicativa “Su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables”.

La Investigación es de nivel explicativo porque expuso en cómo el diseño del modelo de distribución de material electoral contribuye a disminuir el tiempo de recorrido.

4.3. Diseño de Investigación

Hernández et al. (2014) definen a la investigación de tipo No Experimental como “Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos”.

La investigación es de tipo No Experimental-Corte transversal, Se contempló la situación tal como se dio en su ámbito natural sin variar intencionalmente las variables. Los datos fueron recolectados en un solo momento, en un tiempo único.

4.4. Enfoque de Investigación

El enfoque cuantitativo empieza de un concepto que, ya estando definido, suscita interrogantes y objetivos de investigación, se crea un marco teórico. Define una hipótesis e identifica las variables; hace un plan para verificarlas; las variables se miden en un ámbito dado; se utiliza métodos estadísticos para analizar los valores obtenidos y sacar conclusiones sobre la hipótesis. (Hernández et al, 2014)

La investigación utilizó un enfoque cuantitativo, porque las variables se midieron, analizaron y se finalizaron con las conclusiones.

4.5. Población, Muestra y Muestreo

Se consideró como población el desempeño de las 6 rutas tomadas durante el día de la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021.

Para esta investigación la muestra es igual a la población; siendo una muestra censal. Ya que tenemos acceso a toda la población.

El muestreo es no probabilístico por conveniencia porque la muestra está disponible y se selecciona basado en el juicio subjetivo.

4.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las técnicas e instrumentos utilizadas en la recolección de datos para la presente investigación fueron:

Tabla 2

Técnicas e instrumentos de la recolección de datos

Técnica	Descripción	Instrumento
Entrevista	• El investigador consultó las características de los vehículos al chofer encargado.	El cuestionario
Análisis documental	• Revisión de la base de datos en la plataforma de la ONPE: Guías de despacho. • Recopilación de los tiempos de recorrido entre los diferentes puntos identificados en Google Maps.	Ficha de registro de datos

4.7. Procedimiento de la Recolección de Datos

Se describe las siguientes actividades para la recolección de datos:

- De las guías de despacho en el área de distribución de la ONPE se obtuvo los nombres de los locales de votación, dirección, cantidad de cajas solicitadas y rutas.

- Las características del vehículo fueron proporcionadas por el chofer y personal de la ONPE.
- La gráfica de las rutas actuales y propuestas, matriz de distancias euclidianas y tiempos de recorridos entre locales de votación y el almacén se encontró a través de su ubicación exacta en Google Maps.

4.8. Técnica para el procesamiento y análisis de Datos

El Software Visual Studio, se utilizó para programar y ejecutar los algoritmos de la fase I y fase II.

A continuación, se hace referencia a los algoritmos de cada fase.

Fase I: Algoritmo de Clarke and Wright

Con la matriz de distancias euclidianas y capacidad de carga de los vehículos se encontró los Clústers de clientes para cada vehículo, considerando como restricción no exceder su capacidad de carga.

Fase II: Algoritmo Búsqueda Tabú

Con los datos de la cantidad de locales de votación por clúster, número de iteraciones y tiempo tabú se generó una ruta de cada clúster encontrado en la fase I de tal manera que la secuencia a visitar tendrá un tiempo de recorrido mínimo.

A través de Google Maps se representó y encontró el tiempo recorrido total de las rutas actuales, esta información obtenida servirá para hacer la comparación con las rutas encontradas.

CAPITULO V: RESULTADOS

5.1. Presentación y Análisis de Resultados

La empresa J & J TRANSPORTES Y SOLUCIONES INTEGRALES bajo el contrato de la ONPE distribuyó material electoral desde su almacén con código (L0) ubicado en Av. Los Eucaliptos – Lurín hasta el distrito de Puente Piedra que contaba con 96 locales de votación, donde cada una de ellas solicita una cantidad determinada de cajas. A continuación, se muestra los 10 primeros locales de votación con su respectiva demanda, la base de datos completa se encuentra en el anexo 3.

Figura 4

Lista de los Locales de Votación con su Respectiva Demanda

CÓDIGO	NOMBRE DE LOCAL DE VOTACIÓN	DIRECCION DE LOCAL DE VOTACIÓN	CANTIDAD DE CAJAS
L1	8179 RAMIRO PRIALE	CALLE LAS ACACIAS SN MZ O	9
L2	589 ESTRELLA DEL SABER	AV JOSE MARTIN CDRA 3 SN	10
L3	IE MODULO LA ENSENADA DE CHILLON	AV LAS ACACIAS SN	12
L4	ESTADIO SEMIRUSTICO LA ENSENADA	CALLE LOS SAUCES SN	23
L5	IE 2081 PERU SUIZA	AV LAS PALMERAS SN	23
L6	LOSA APROVIET AAHH SIMON BOLIVAR	AAHH SIMON BOLIVAR - PARTE ALTA	18
L7	I.E 350	CALLE CONQUISTADORES SN	13
L8	LOSA MULTIDEPORTIVA ENSENADA DE CHILLON	CALLE CIPRESES SN	14
L9	LOSA POLIDEPORTIVO IPD	CALLE LOS SAUCES SN	22
L10	IEP CASTILLO DEL REY	ASOCIACION DE VIVIENDA CHILLON MZ H LT 42	20

Nota: Elaboración propia con los datos proporcionados por las guías de despacho en la distribución de material electoral 2021.

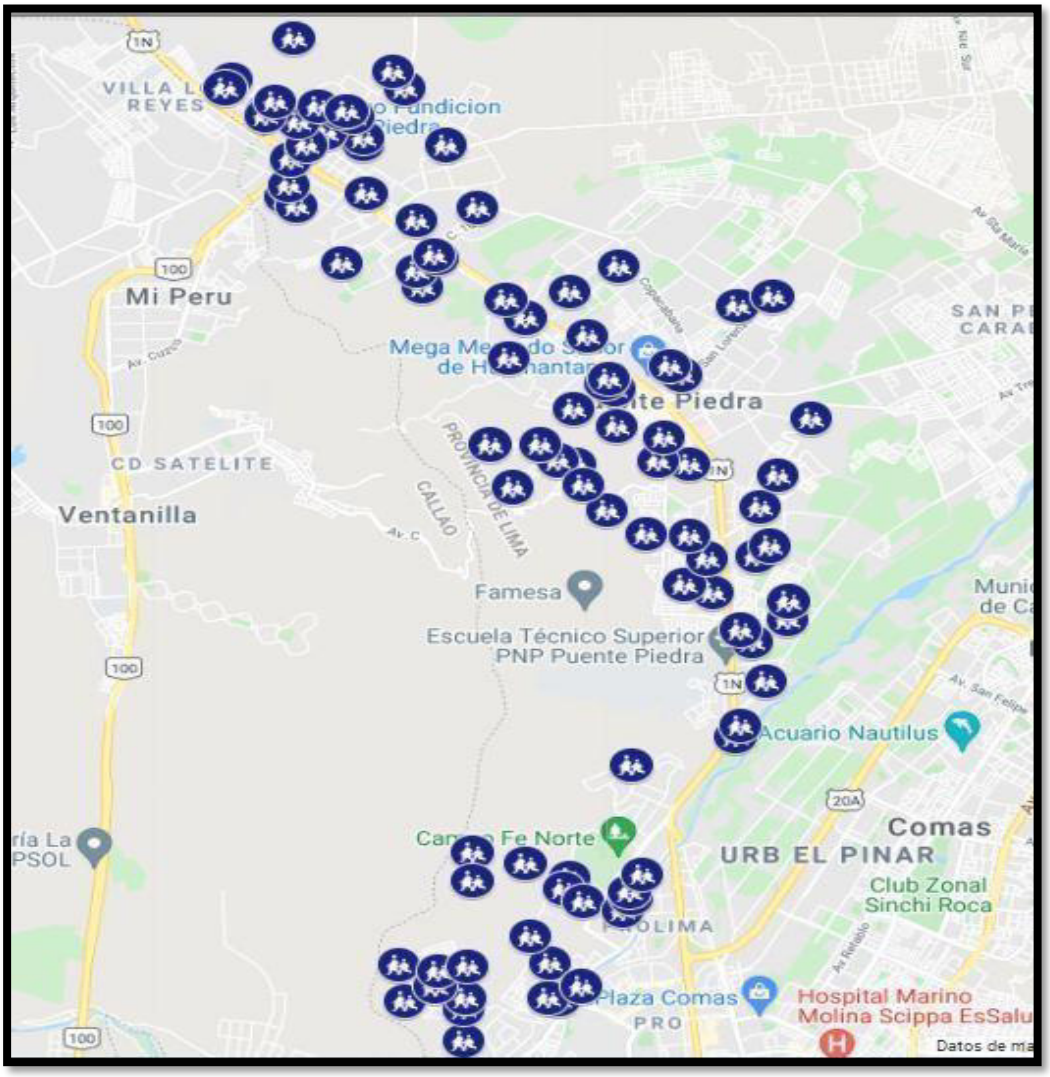
Se distribuyó 1 569 cajas de material electoral para un total de 838 mesas de sufragio con 251 400 electores.

5.1.1. Mapeo de Locales de Votación

En la figura 5 se muestra la ubicación de los 96 locales de votación del distrito de Puente Piedra en Google Maps.

Figura 5

Mapa de Ubicación de los Locales de Votación



Nota: Elaboración propia con Google Maps

5.1.2. Matriz de Distancias Euclidianas

En la figura 6 se muestra las coordenadas geográficas adquiridos de Google Maps de los locales de votación y el almacén.

Figura 6

Coordenadas Geográficas de los Locales de Votación

NRO	NOMBRE DE LOCAL DE VOTACION	X	Y
L0	ALMACEN	-12,29092	-76,84124
L1	8179 RAMIRO PRIALE	-11,94033	-77,09419
L2	589 ESTRELLA DEL SABER	-11,93572	-77,0998
L3	IE MODULO LA ENSENADA DE CHILLON	-11,93654	-77,09411
L4	ESTADIO SEMIRUSTICO LA ENSENADA	-11,93518	-77,09403
L5	IE 2081 PERU SUIZA	-11,93387	-77,09689
L6	LOSA APROVIET AAHH SIMON BOLIVAR	-11,9314	-77,10042
L7	I.E 350	-11,93199	-77,09655
L8	LOSA MULTIDEPORTIVA ENSENADA DE CHILLON	-11,93153	-77,09381
L9	LOSA POLIDEPORTIVO IPD	-11,87773	-77,08028
L10	IEP CASTILLO DEL REY	-11,93541	-77,08492
L11	IEP SAN AGUSTIN	-11,93517	-77,08589
L12	IE 5187 LOS PORTALES DE CHILLON	-11,93115	-77,08576
L13	601 KUMAMOTO III	-11,92791	-77,08762
L14	8194 LOS DISCIPULOS DE JESUS	-11,91799	-77,09321
L15	IE 3092 KUMAMOTO I	-11,9195	-77,0882
L16	LOSA DEPORTIVA INTEGRACION DE LAS LADERAS	-11,92144	-77,09324
L17	ESTADIO LADERAS DE CHILLON	-11,92111	-77,08393
L18	IEP SANTA ELENA	-11,93393	-77,08268
L19	IE 5182 SEÑOR DE LOS MILAGROS	-11,92242	-77,08429
L20	JULIO RAMON RIBEYRO	-11,92393	-77,0824
L21	I.E.I 8178	-11,92488	-77,07862
L22	I.E.I 606	-11,92348	-77,07778
L23	IEP BUENAVENTURA DE JESUS	-11,92275	-77,07804
L24	IE 2068 JOSE MARIA ARGUEDAS	-11,90777	-77,07788
L25	IE 5171 TUPAC AMARU II	-11,92074	-77,07689
L26	IE 5173 GUSTAVO MOHME LLONA	-11,90453	-77,06778
L27	IEP DIVINO CORAZON DE JESUS	-11,90321	-77,06713
L28	IEP LOS CERVANTINOS	-11,89794	-77,06487
L29	I.E.I 603	-11,89325	-77,06616
L30	IE 5170 PERU ITALIA	-11,89185	-77,06728
L31	SANTA TERESA DE JESUS	-11,89064	-77,0628
L32	IEP SANTA MONICA	-11,8831	-77,0657
L33	DESPERTAR	-11,88194	-77,06446
L34	IE 5181 JOSE OLAYA BALANDRA	-11,87742	-77,0653
L35	IE 5176 MARIA REICHE GROSSE	-11,88746	-77,06986
L36	604 LAS BEGONIAS	-11,88647	-77,07264
L37	IE 5179 LOS PINOS	-11,88354	-77,07038
L38	IE 5168 ROSA LUZ	-11,88082	-77,07218
L39	5169 RAMIRO PRIALE PRIALE	-11,88063	-77,07651
L40	IEP CESAR VALLEJO	-11,87233	-77,07215
L41	IE 333	-11,87205	-77,0753
L42	IE AUGUSTO B LEGUIA	-11,86912	-77,07483
L43	ESTADIO MUNICIPAL DE PUENTE PIEDRA	-11,86184	-77,07307
L44	IE 3071 MANUEL TOBIAS GARCIA CERRON	-11,86787	-77,07919
L45	IE 2069 SANTA ROSA	-11,87232	-77,08341
L46	MARIA REYNA DE LA PAZ	-11,87192	-77,085
L47	IE 3711 FE Y ALEGRIA 12	-11,87004	-77,08682
L48	LOSA DEPORTIVA HUANCAYO	-11,8701	-77,09162
L49	MODULO SANTA ROSA	-11,87506	-77,08926
L50	ESTADIO SANTA ROSA DE PUENTE PIEDRA	-11,87475	-77,08241
L51	608 MERCURIO	-11,87366	-77,06362
L52	2064 REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA	-11,867	-77,06032
L53	CRISTO REY EL SALVADOR	-11,86083	-77,0741
L54	IEP CIENCIAS SIGLO XXI	-11,84081	-77,11147
L55	IEP CORAZON DE JESUS EL ROBLE II	-11,85374	-77,06804
L56	IEP CORAZON DE JESUS EL ROBLE I	-11,85372	-77,0676
L57	8191 VIRGEN DE ARANZAZU	-11,85254	-77,06411
L58	IEP SAN MIGUELITO	-11,85731	-77,08211
L59	INGENIEROS UNI DE PUENTE PIEDRA	-11,85203	-77,08377
L60	IEP DANIEL ALCIDES CARRION	-11,84896	-77,07911
L61	IE 5177 ALAMEDA DEL NORTE	-11,84213	-77,09282
L62	IE 2067 LEONCIO PRADO	-11,84052	-77,10362
L63	IE 3073 EL DORADO	-11,83469	-77,09585
L64	IEP GOOD PEOPLE PRIMARIA	-11,83451	-77,10392
L65	GOOD PEOPLE	-11,83385	-77,10396
L66	CAMPO SINTETICO SAN JUDAS TADEO	-11,83328	-77,10754
L67	LOSA DEPORTIVA LOS GERANIOS ZAPALLAL	-11,8314	-77,10478
L68	LOSA DEPORTIVA SINTETICA LOS ZORSALES DE ZAP	-11,82798	-77,09987
L69	IEP MARIANO SANTOS	-11,86355	-77,07944
L70	IE 3719 PARROQUIAL SANTISIMA TRINIDAD	-11,86278	-77,08047
L71	IEP SAN MIGUEL ARCANGEL	-11,86228	-77,08007
L72	IEP ALFRED NOBEL	-11,86579	-77,08349
L73	8180 CELSO LINO RICALDI	-11,85982	-77,08961
L74	613 VIRGEN DE FATIMA	-11,88848	-77,06262
L75	IEP MIGUEL DE CERVANTES LOCAL DON QUIJOTE	-11,85501	-77,08808
L76	IE 3070 MARIA DE LOS ANGELES	-11,85297	-77,09009
L77	TESLA SCHOOL	-11,85147	-77,09817
L78	CANCHA DEPORTIVA EL CALICHE	-11,84949	-77,09873
L79	IEP AUGUSTE RENOIR	-11,84809	-77,09647
L80	IEP SOPHIANUM ZAPALLAL SAC	-11,84762	-77,09707
L81	5178 VICTOR ANDRES BELAUNDE	-11,84865	-77,106
L82	IE 3088 VISTA ALEGRE	-11,842	-77,11033
L83	VIRGEN DE GUADALUPE	-11,83952	-77,11107
L84	COLEGIO GENES DEL NORTE	-11,83636	-77,11094
L85	IE 5167 VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE	-11,83467	-77,10941
L86	LOSA DEPORTIVA 28 DE NOVIEMBRE	-11,83091	-77,10596
L87	IE 5166 BELLA AURORA	-11,832	-77,11006
L88	LOS AMAUTAS DE ZAPALLAL	-11,83117	-77,11342
L89	5172 HIJOS DE LUYA	-11,8303	-77,10815
L90	INICIAL 609	-11,83077	-77,10548
L91	LOSA DEPORTIVA DEL COLEGIO PITAGORA	-11,84363	-77,09871
L92	8183 PITAGORAS	-11,82599	-77,10108
L93	IEP LAS AMERICAS	-11,8296	-77,11249
L94	5165 REPUBLICA DE SUECIA	-11,82213	-77,11058
L95	IE 2076 ABRAHAM LINCOLN	-11,82708	-77,11656
L96	331 DIVINO NIÑO JESUS	-11,82804	-77,11732

Nota: Elaboración propia con ayuda con Google Maps.

Estos datos se utilizaron para obtener la matriz de distancias con el World Geodetic System 1984 (WGS84). Esta matriz se utilizó en el algoritmo de Clarke and Wright para encontrar los clústeres de locales de votación.

Según Campos & Mendoza (2018) en su investigación utilizó la siguiente fórmula para hallar las distancias entre los pares de puntos.

$$dij = \sqrt{[84{,}8(xj - xi)]\text{^}2 + [110{,}56(yj - yi)]\text{^}2}$$

Donde la distancia dij se da en Km, (xi; yi) y (xj; yj) son las coordenadas geográficas del nodo i y el nodo j, respectivamente.

A continuación, en la figura 7 se muestra la matriz de distancias euclidianas y en la figura 8 la matriz de tiempos recorridos de los 15 primeros locales de votación y el almacén. En el anexo 5 y anexo 6 se muestra las matrices completas.

Figura 7

Matriz de Distancias en Km de los 15 Primeros Locales de Votación

	L0	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15
L0	0	40,8164239	41,5265473	41,0450863	41,1235878	41,4202707	41,8399432	41,5113807	41,3347397	43,8879297	40,4312762	40,5179671	40,7628824	41,1049094	42,1445598	41,6836544
L1	40,8164239	0	0,73316052	0,32151368	0,43707812	0,62386138	1,0236595	0,75382835	0,74742171	5,52675894	1,10655825	1,01663347	1,21435949	1,27941029	1,89752788	1,88644993
L2	41,5265473	0,73316052	0	0,63291781	0,63957261	0,35794032	0,37269395	0,47870563	0,75155007	5,37027448	1,64534282	1,53859667	1,59990709	1,50067084	1,67073883	1,88060501
L3	41,0450863	0,32151368	0,63291781	0	0,11566667	0,38174914	0,82260382	0,47079339	0,42614075	5,21622706	1,02055501	0,91619873	1,03013045	1,02490096	1,57618396	1,58585812
L4	41,1235878	0,43707812	0,63957261	0,11566667	0	0,33514772	0,77579648	0,38833097	0,31047423	5,10343546	1,00739043	0,8999588	0,97610988	0,93931266	1,46052845	1,47765697
L5	41,4202707	0,62386138	0,35794032	0,38174914	0,33514772	0	0,44293092	0,16379576	0,39412231	5,10258451	1,32983093	1,22114618	1,25196372	1,14273322	1,40674515	1,55177303
L6	41,8399432	1,0236595	0,37269395	0,82260382	0,77579648	0,44293092	0	0,43078248	0,73088474	5,06672121	1,74709238	1,63793917	1,62094824	1,44578285	1,38873302	1,68630985
L7	41,5113807	0,75382835	0,47870563	0,47079339	0,38833097	0,16379576	0,43078248	0	0,30543555	4,94036485	1,31811374	1,20902646	1,19506718	1,04616815	1,24330385	1,40501135
L8	41,3347397	0,74742171	0,75155007	0,42614075	0,31047423	0,39412231	0,73088474	0,30543555	0	4,80121664	1,03648769	0,92844785	0,89059117	0,75006109	1,15010666	1,19389841
L9	43,8879297	5,52675894	5,37027448	5,21622706	5,10343546	5,10258451	5,06672121	4,94036485	4,80121664	0	4,9180922	4,9102427	4,5703525	4,33195347	3,70125798	3,64872321
L10	40,4312762	1,10655825	1,64534282	1,02055501	1,00739043	1,32983093	1,74709238	1,31811374	1,03648769	4,9180922	0	0,10915726	0,37299468	0,70257058	1,7384525	1,39705395
L11	40,5179671	1,01663347	1,53859667	0,91619873	0,8999588	1,22114618	1,63793917	1,20902646	0,92844785	4,9102427	0,10915726	0	0,34119886	0,64467528	1,6665587	1,3531363
L12	40,7628824	1,21435949	1,59990709	1,03013045	0,97610988	1,25196372	1,62094824	1,19506718	0,89059117	4,5703525	0,37299468	0,34119886	0	0,34318673	1,38701844	1,02408976
L13	41,1049094	1,27941029	1,50067084	1,02490096	0,93931266	1,14273322	1,44578285	1,04616815	0,75006109	4,33195347	0,70257058	0,64467528	0,34318673	0	1,04384191	0,7160451
L14	42,1445598	1,89752788	1,67073883	1,57618396	1,46052845	1,40674515	1,38873302	1,24330385	1,15010666	3,70125798	1,7384525	1,6665587	1,38701844	1,04384191	0	0,56851359
L15	41,6836544	1,88644993	1,88060501	1,58585812	1,47765697	1,55177303	1,68630985	1,40501135	1,19389841	3,64872321	1,39705395	1,3531363	1,02408976	0,7160451	0,56851359	0

5.1.3. Matriz de tiempo de recorrido

Figura 8

Matriz de Tiempo Recorrido en minutos de los 15 Primeros Locales de Votación

	L0	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15
L0	0	76	78	76	75	79	82	77	76	86	72	72	74	76	81	77
L1	77	0	5	3	4	6	10	4	5	26	6	5	7	7	15	11
L2	80	6	0	3	4	2	7	3	4	29	9	8	10	10	17	14
L3	76	3	4	0	2	5	9	3	3	25	5	4	6	6	14	10
L4	76	4	2	1	0	3	7	1	1	25	5	4	6	6	14	10
L5	78	4	2	1	1	0	6	1	3	27	7	6	7	8	15	12
L6	82	8	5	5	5	4	0	4	5	31	11	10	11	11	19	15
L7	79	5	3	2	2	1	5	0	1	27	7	6	8	8	16	12
L8	78	5	4	3	1	2	7	1	0	26	7	5	7	7	15	11
L9	84	23	25	23	22	26	29	24	23	0	19	19	21	20	21	18
L10	74	5	7	5	5	8	12	6	6	22	0	1	2	4	12	8
L11	74	5	7	5	4	8	11	6	5	22	1	0	2	4	12	8
L12	76	7	9	7	6	10	13	8	7	23	3	2	0	5	13	9
L13	77	6	9	6	6	9	13	7	7	24	5	4	6	0	9	4
L14	81	14	16	14	13	17	20	15	15	25	12	11	13	9	0	5
L15	80	12	14	12	12	15	19	13	12	23	11	9	12	6	3	0

La matriz de tiempos recorridos se elaboró en base a la información del tiempo en minutos entre dos puntos que proporciona Google Maps. Resultando una matriz no simétrica. dicha matriz se utilizó en la metaheurística Búsqueda Tabú para encontrar el tiempo de recorrido de cada ruta.

5.1.4. Programación de los Algoritmos de la heurística 2 fases.

Se programó el código de los algoritmos presentados en el software Visual Studio para encontrar la solución de la distribución del material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021.

En la figura 9 se presenta el interfaz de la ventana principal del programa, en la figura 10 se presenta la ventana para la fase I y en la figura 11 se muestra la ventana para la fase II.

Figura 9

Diseño del Interfaz de la Heurística de 2 Fases

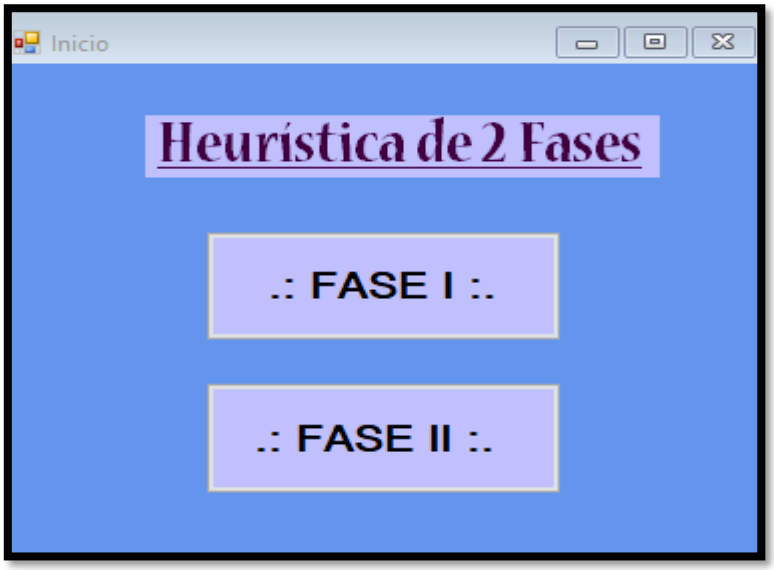
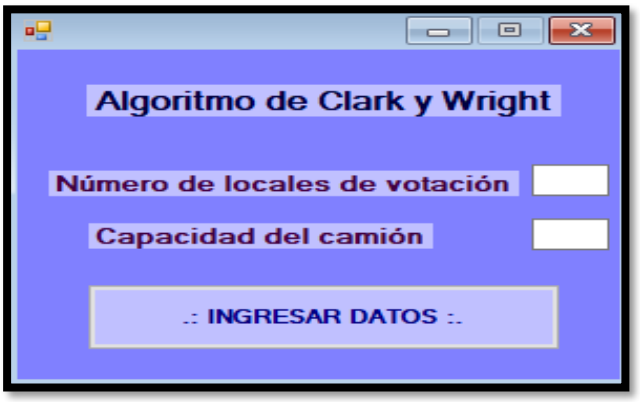


Figura 10

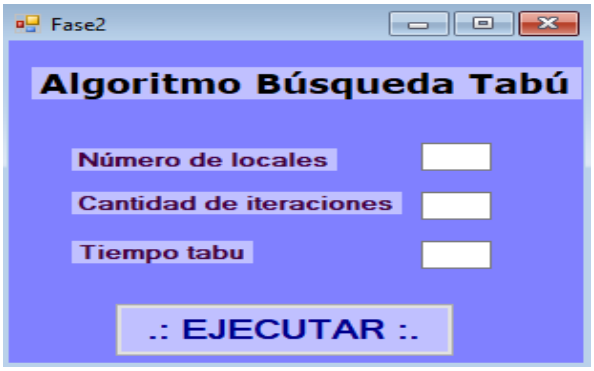
Diseño de Interfaz para la Fase I-Clarke and Wright



Para la fase I, el algoritmo de Clark and Wright como datos de entrada requiere: los números de los locales de votación y la capacidad de carga de los vehículos.

Figura 11

Diseño de interfaz para la fase II -Búsqueda Tabú



Para la fase II, el algoritmo Búsqueda Tabú requiere como datos de entrada: El número de locales en cada clúster, el número de iteraciones para encontrar una nueva ruta y el tiempo tabú como un parámetro para no caer en bucles.

5.1.5. Rutas Utilizadas por los Camiones

Se consideró nuestra situación actual a las rutas llevadas a cabo el día de la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021. La información para su análisis corresponde a las guías de despacho.

De las guías de despacho se pudo extraer los siguientes detalles:

- Secuencia de entrega de material electoral a cada local de votación.
- Cantidad de cajas que solicita cada local de votación
- Cantidad de cajas transportadas por Vehículo.

La empresa J & J TRANSPORTES Y SOLUCIONES INTEGRALES utiliza camiones modelo Hino FC 500 con capacidad de carga de 300 cajas de material electoral.

Las rutas de distribución para los 96 locales de votación se dieron con el siguiente procedimiento:

Paso 1: El personal de la ONPE encargado informa al chofer sobre los locales de votación que se tiene que entregar el material.

Paso 2: El auxiliar de transporte con el personal de la ONPE indica la cantidad de cajas que deben ir en cada camión.

Paso 3: El chofer de acuerdo con su experiencia decide la secuencia a entregar, teniendo en cuenta la cercanía que hay entre locales.

A Continuación, En la tabla 2 tenemos la demanda y el tiempo de recorrido utilizado por cada ruta.

Tabla 3

Rutas Actuales

Rutas	Secuencia (Código de los locales)	Demanda (cajas)	Tiempo (min)
Ruta 1:	L0- L85- L86- L87- L88- L89- L90- L91- L92- L93- L94- L95- L96- L0	195	223
Ruta 2:	L0- L51- L52- L53- L54- L55- L56- L57- L58- L59- L60- L61- L62- L63- L64- L65- L66- L67- L68- L0	267	274
Ruta 3:	L0- L69- L70- L71- L72- L73- L74- L75- L76- L77- L78- L79- L80- L81- L82- L83- L84- L0	286	244
Ruta 4:	L0- L18- L19- L20- L21- L22- L23- L24- L25- L26 - L27- L28- L29- L30- L31- L32- L33- L34- L0	228	208
Ruta 5:	L0- L1- L2- L3- L4- L5- L6- L7- L8- L9- L10- L11- L12- L13- L14- L15- L16- L17- L0	283	252
Ruta 6:	L0- L35- L36- L37- L38- L39- L40- L41- L42- L43- L44- L45- L46- L47- L48- L49- L50- L0	300	204
TOTAL		**1559**	**1405**

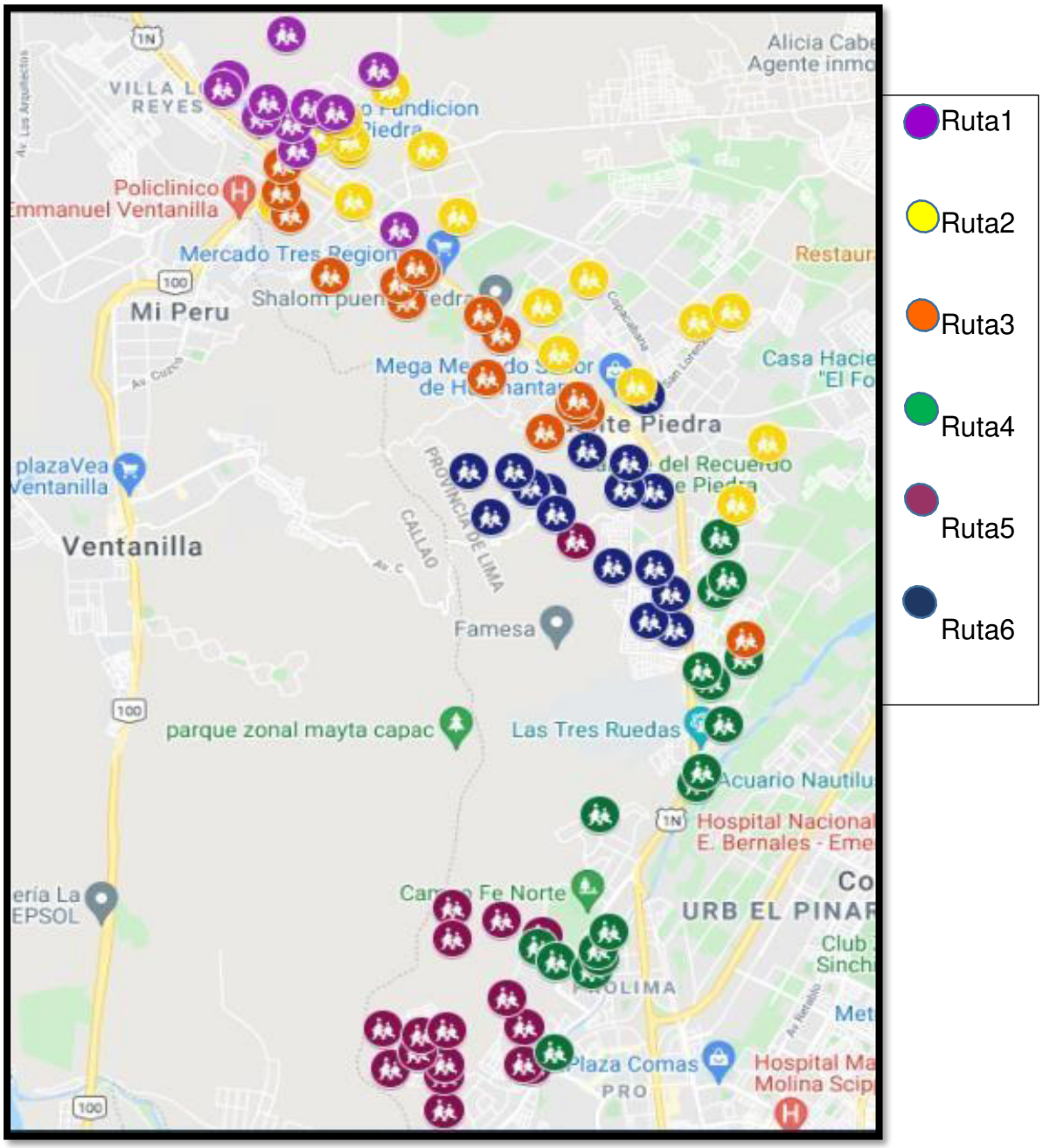
Tenemos 6 rutas donde: la primera ruta (R1) visita a 12 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 195 cajas con un tiempo recorrido de 223 minutos , la segunda ruta (R2) visita a 18 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 267 cajas con un tiempo recorrido de 274 minutos, la tercera ruta (R3) visita a 16 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 286 cajas con un tiempo recorrido de 244 minutos, la cuarta ruta (R4) visita a 17 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 228 cajas con un tiempo recorrido de 208 minutos, la quinta ruta (R5) visita a 17 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 283 cajas con un tiempo recorrido de 252 minutos, la sexta ruta (R6) visita 16 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 300 cajas con un tiempo recorrido de 204 minutos.

Donde tenemos un tiempo de recorrido acumulado de 1405 minutos.

A continuación, en la figura 12 se muestra los locales de votación en Google Maps de las diferentes rutas.

Figura 12

Mapa de Ubicación de los Locales de Votación-Rutas Actuales



Nota: Elaboración propia con Google Maps

Figura 13

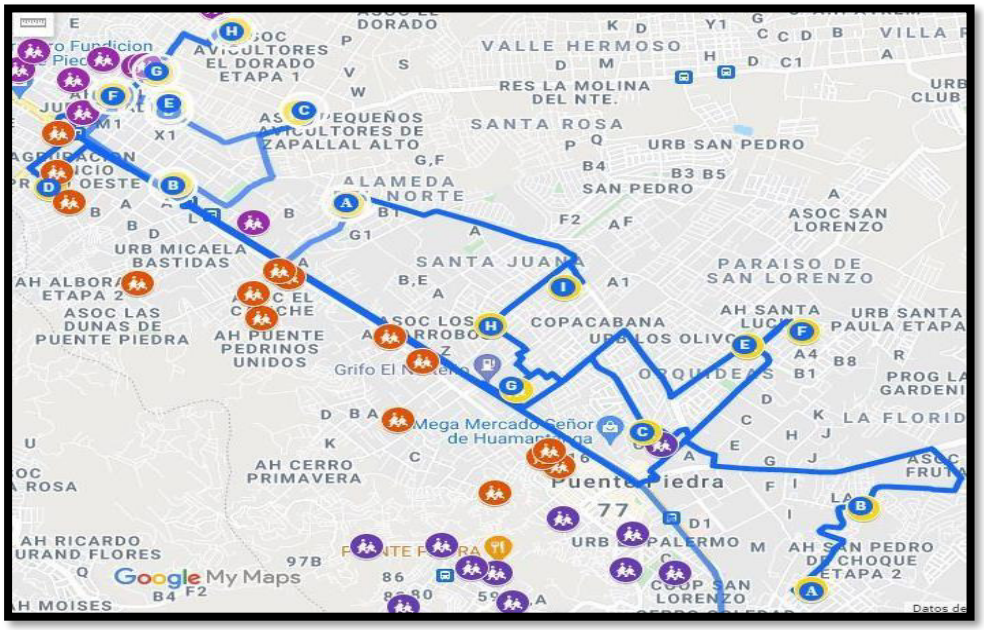
Secuencia de Recorrido de la Ruta 1 en Google Maps



Nota: Elaboración propia con Google Maps

Figura 14

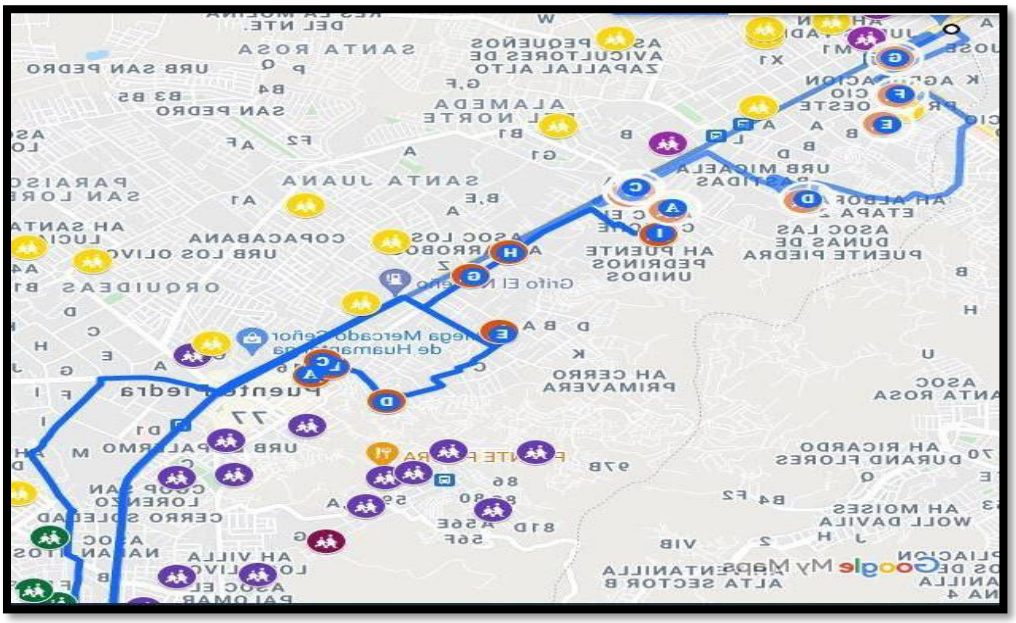
Secuencia de Recorrido de la Ruta 2 en Google Maps



Nota: Elaboración propia con Google Maps

Figura 15

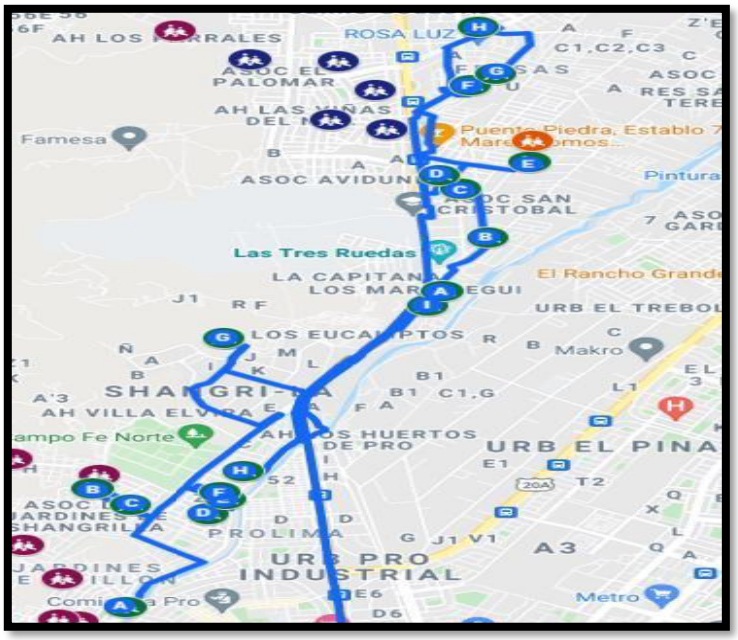
Secuencia de Recorrido de la Ruta 3 en Google Maps



Nota: Elaboración propia con Google Maps

Figura 16

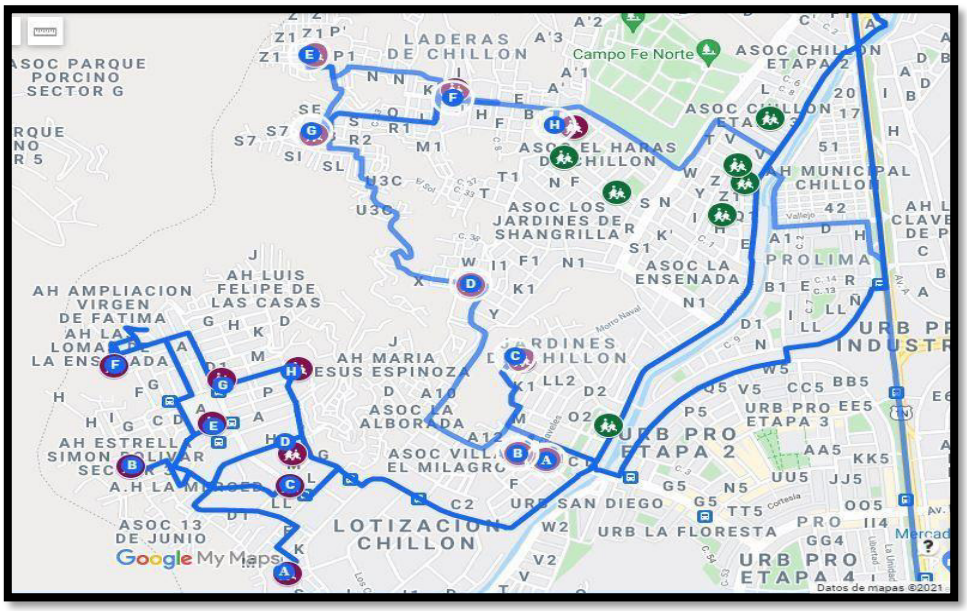
Secuencia de Recorrido de la Ruta 4 en Google Maps



Nota: Elaboración propia con Google Maps

Figura 17

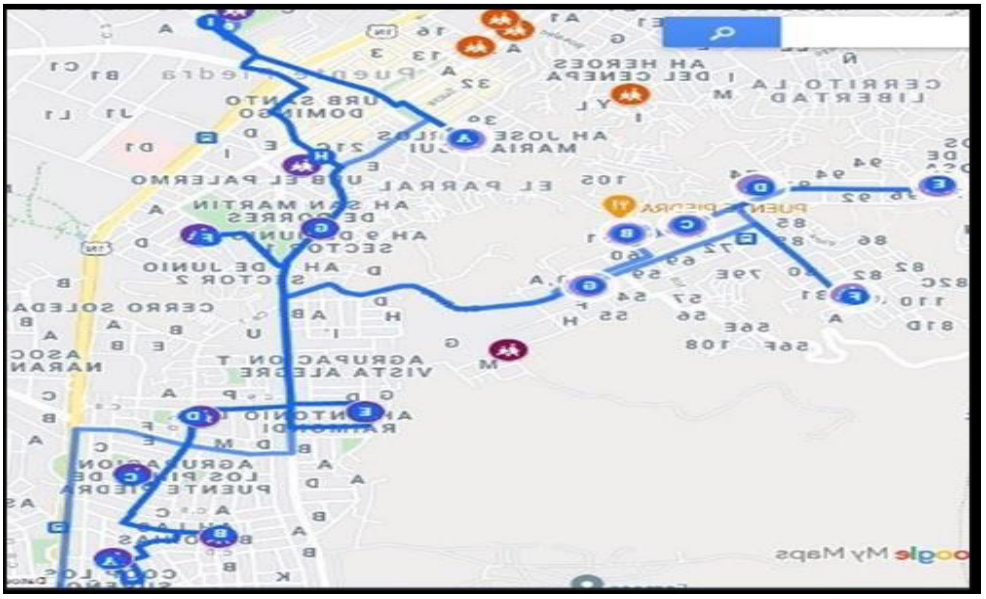
Secuencia de Recorrido de la Ruta 5 en Google Maps



Nota: Elaboración propia con Google Maps

Figura 18

Secuencia de Recorrido de la Ruta 6 en Google Maps



Nota: Elaboración propia con Google Maps

5.1.6. Resultados de la Fase I - Algoritmo De Clarke And Wright

Procedimiento de la ejecución en el software Visual Studio para la formación de clústers.

En la figura 19 se ingresó la cantidad de locales de votación del distrito de Puente Piedra y la capacidad homogénea de los camiones.

Figura 19

Datos de Entrada de la Fase I



Nota. Elaboración propia

En la figura 20 presenta la ventana donde se ingresó el número del local de votación con su respectiva demanda, se importó la matriz de distancias euclidianas desde un Excel y se ejecutó para encontrar los ahorros.

En la figura 21 encuentra el ahorro de cada arco y comienza a unir los arcos para encontrar las rutas teniendo en cuenta que no sobrepase la capacidad del camión. El programa arrojó 6 clústers con su respectiva demanda y distancia.

Figura 20

Matriz de Distancia Euclidiana en la Fase I

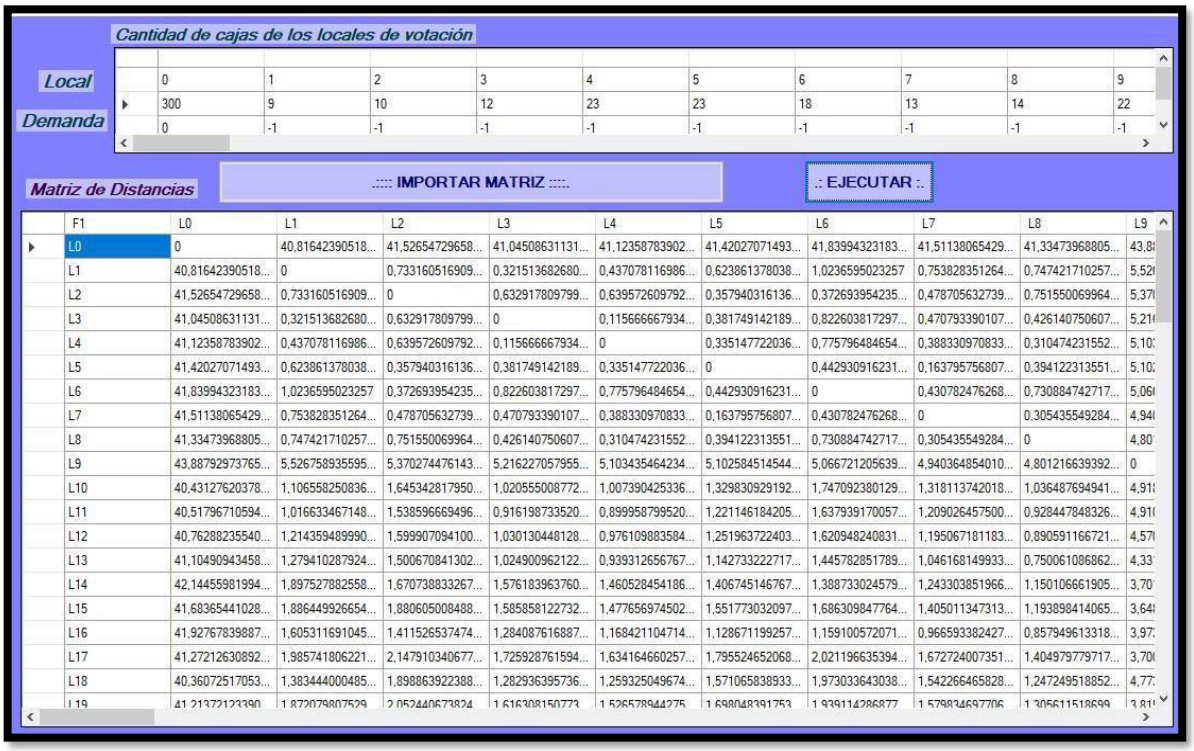


Figura 21

Clústers Encontrados en la Fase I

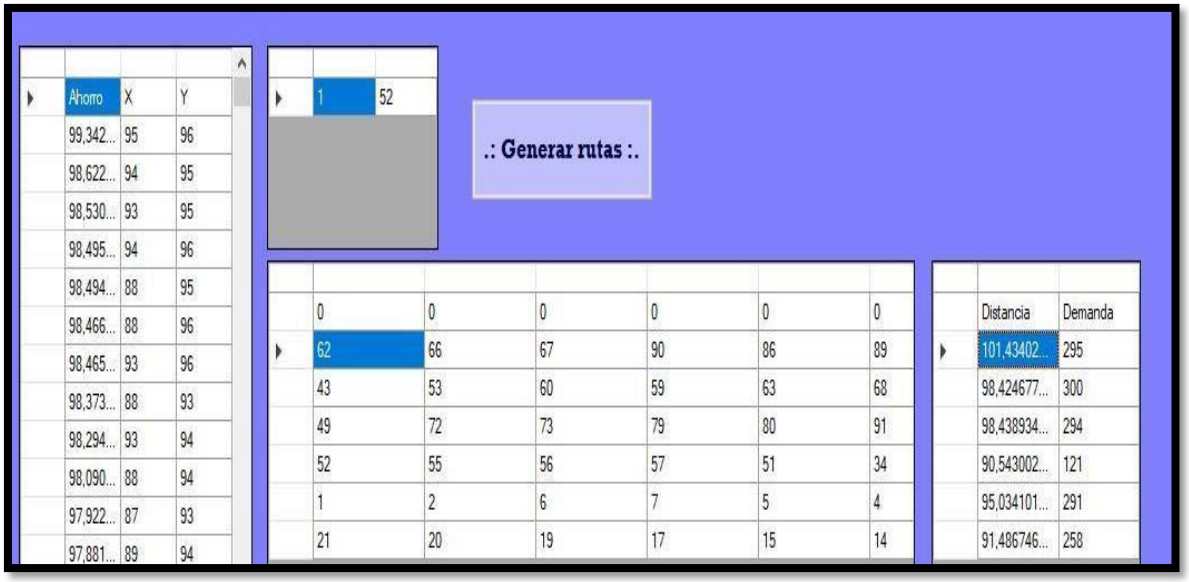


Tabla 4

Clústers de la Fase I

Rutas	Secuencia (Código de los locales)	Demanda (cajas)	Tiempo (min)
Ruta 1:	L0- L62- L66- L67- L90- L86- L89- L94- L95- L96- L88- L93- L87- L85- L84- L83- L54- L82- L48- L0	295	230
Ruta 2:	L0- L43- L53- L60- L59- L63- L68- L92- L61- L76- L75- L58- L71- L70- L69- L44- L41- L0	300	242
Ruta 3:	L0- L49- L72- L73- L79- L80- L91- L64- L65- L81- L78- L77- L47- L46- L45- L50- L9- L0	294	246
Ruta 4:	L0- L52- L55- L56- L57- L51- L34- L33- L32- L74- L31- L0	121	208
Ruta 5:	L0- L1- L2- L6- L7- L5- L4- L3- L25- L24- L29-L30- L35- L37- L38- L40- L42- L39- L36- L28- L0	291	243
Ruta 6:	L0- L21- L20- L19- L17- L15- L14- L16- L8- L13- L12- L11- L10- L18- L26- L27- L22- L23- L0	258	213
TOTAL		**1559**	**1382**

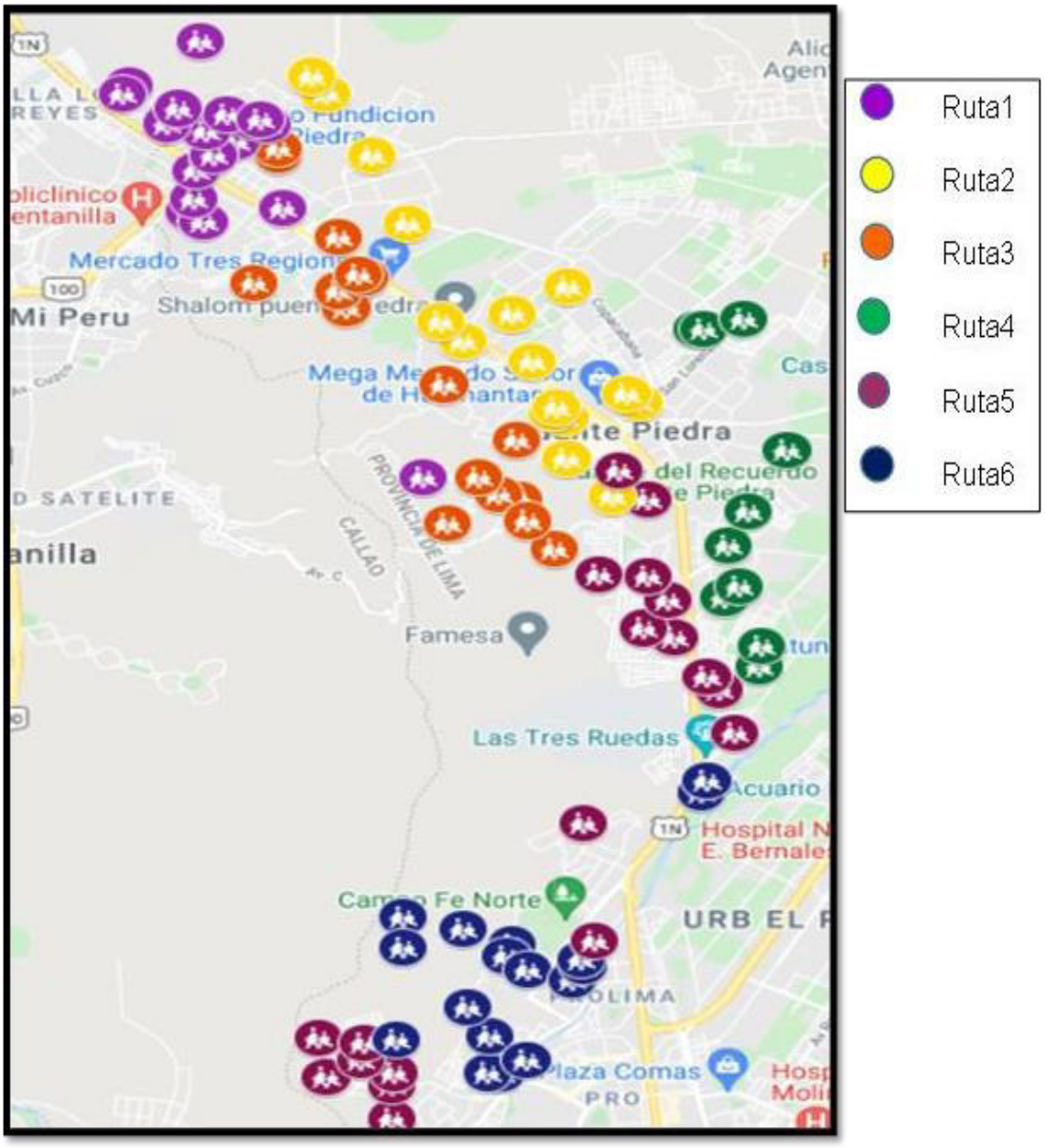
Nota. Elaboración propia

Tenemos 6 clúster donde: El primer clúster(C1) visita a 18 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 295 cajas con un tiempo recorrido de 230 minutos, el segundo clúster (C2) visita a 16 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 300 cajas con un tiempo recorrido de 242 minutos, el tercer clúster(C3) visita a 16 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 294 cajas con un tiempo recorrido de 246 minutos, el cuarto clúster(C4) visita a 10 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 121 cajas con un tiempo recorrido de 208 minutos, el quinto clúster(C5) visita a 19 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 291 cajas con un tiempo recorrido de 243 minutos, el sexto clúster(C6) visita 17 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 258 cajas con un tiempo recorrido de 213 minutos. Donde tenemos un tiempo de recorrido acumulado de 1382 minutos.

A continuación, en la figura 22 se muestra los locales de votación en Google Maps de los diferentes clústers arrojados por el programa.

Figura 22

Mapa de Ubicación de los Locales de Votación de los Diferentes Clústers



Nota. Elaboración propia con Google Maps

5.1.7. Resultados de la Fase II - Algoritmo de Búsqueda Tabú

En la fase II las soluciones iniciales para cada ruta fueron los 6 clústers encontrados en la fase I. En la fase II se encontró la secuencia de locales de votación a visitar de cada clúster minimizando el tiempo de recorrido.

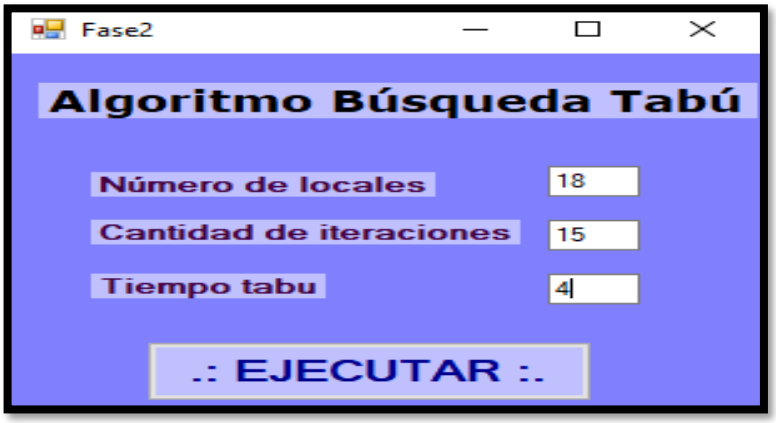
A continuación, se muestra el procedimiento para ejecutar el primer clúster

En la figura 23 se ingresó los 18 locales del primer clúster, y como parámetros 15 iteraciones y un tiempo Tabú de 4.

Dado que el algoritmo de Búsqueda Tabu realiza una permutación por iteración y los clústers encontrados tienen como máximo 19 clientes entonces considerando 15 iteraciones y un tiempo tabu de 4, se puede encontrar una mejor solución en 15 permutaciones en un tiempo de ejecución razonable, considerando un computador con procesador Intel(R) Core (TM) i3-4005U CPU @ 1.70GHz, 8 Gb de memoria RAM y con sistema operativo de 64 bits.

Figura 23

Datos de Entrada para las Rutas en la Fase II



En la figura 24 se ingresó la secuencia inicial el clúster I de la Fase I, se Importó la matriz de tiempos de recorridos desde un Excel para luego iniciar con las iteraciones.

Figura 24

Matriz de Tiempos de Recorrido en la fase II

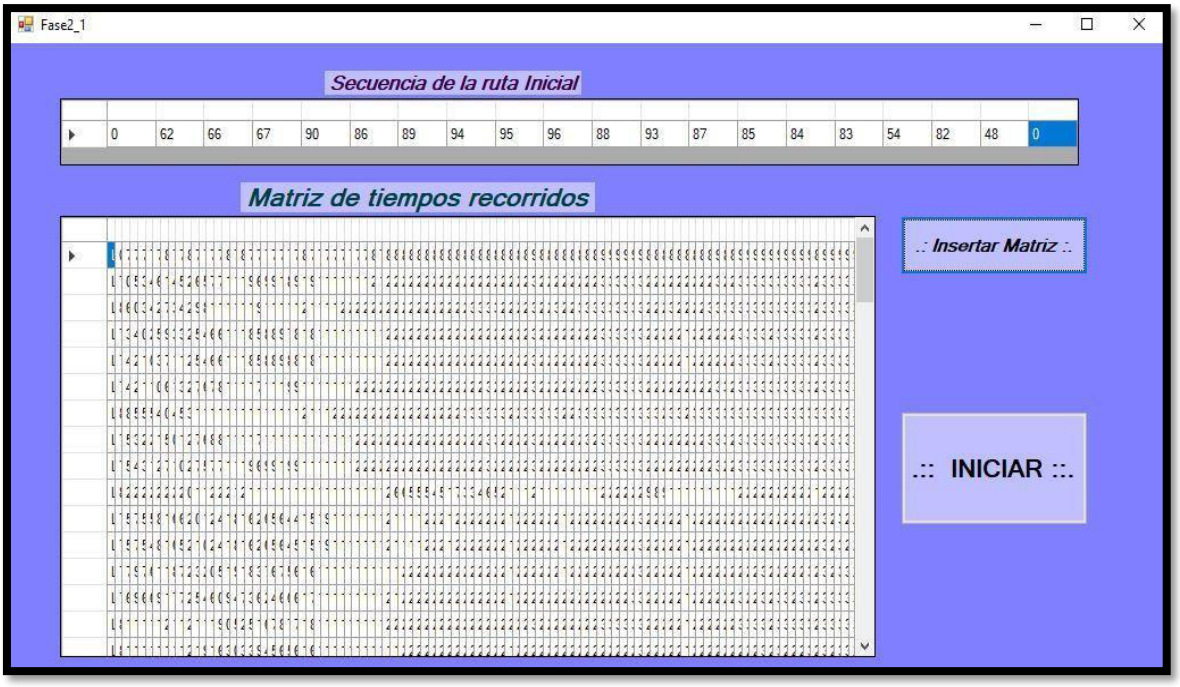
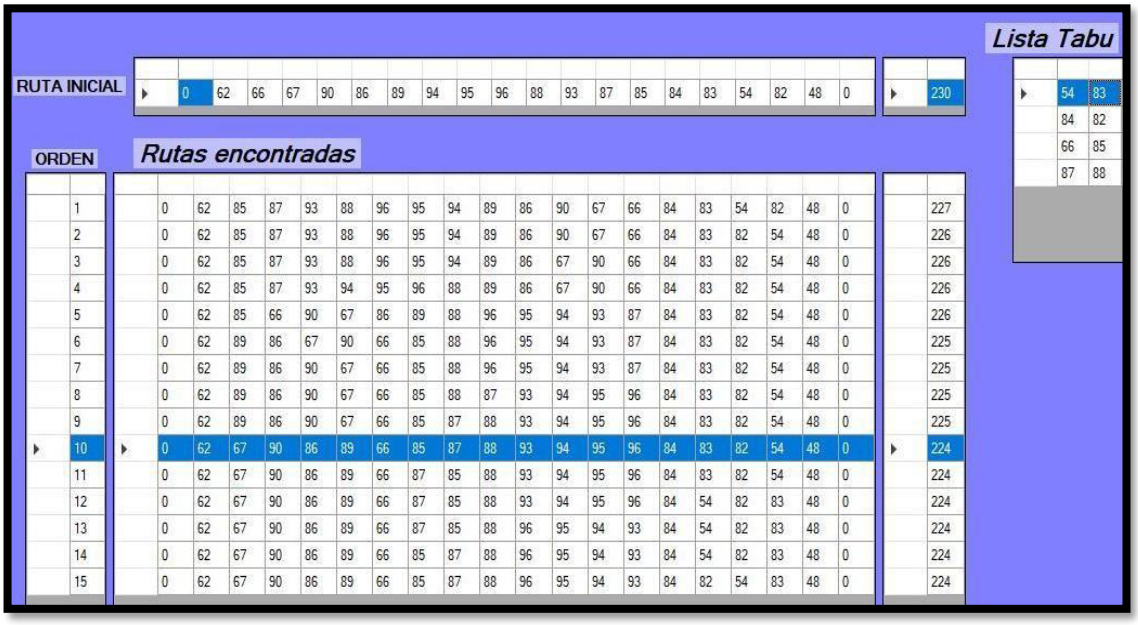


Figura 25

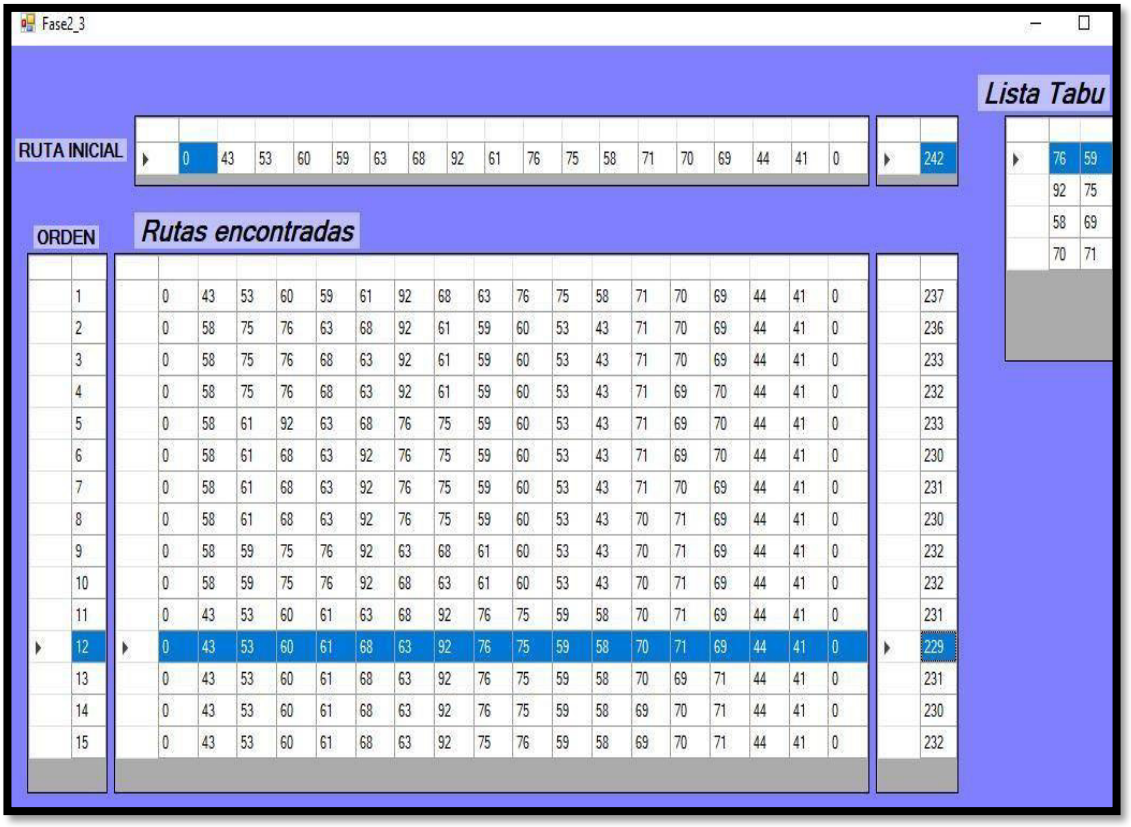
Ruta 1 Encontrada en la Fase II



En la figura 25 como ruta inicial tenemos la secuencia del clúster 1 de la Fase I. Encuentra la ruta óptima en la iteración 10 con un total de 224 minutos. En la lista tabú quedan los 4 arcos: (87,88) ;(66,85) ;(84,82) ;(54,83).

Figura 26

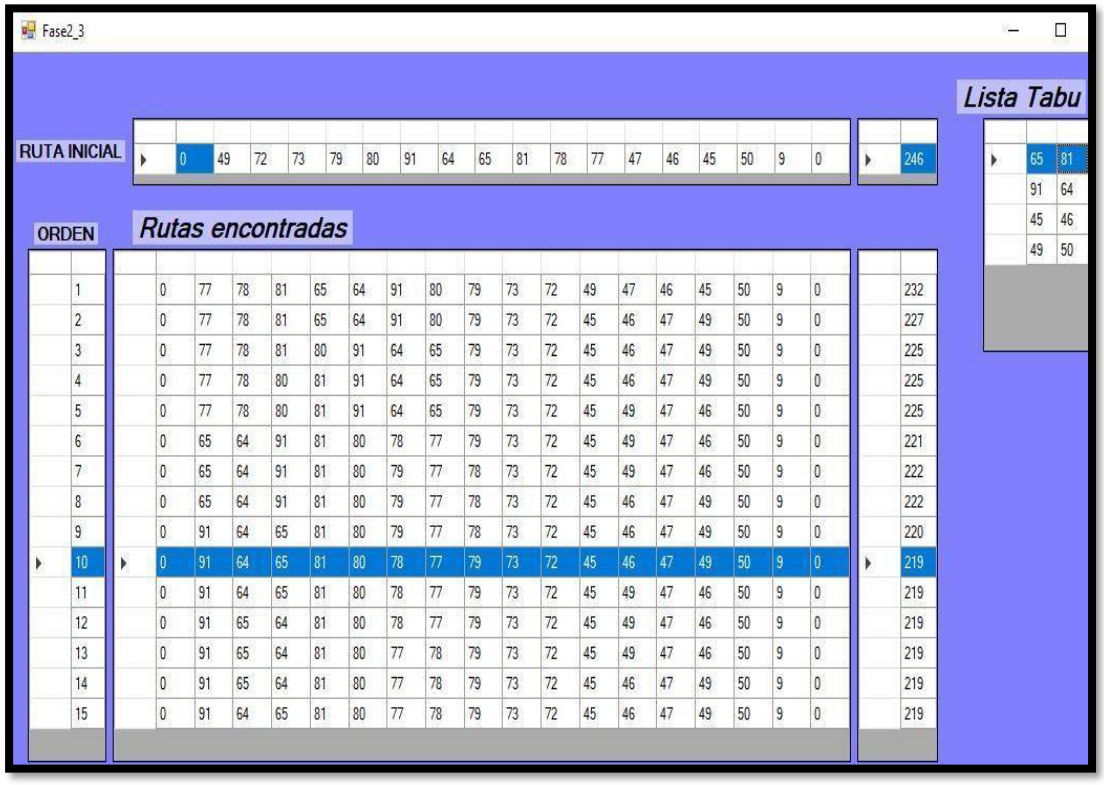
Ruta 2 Encontrada en la Fase II



En la figura 26 como ruta inicial tenemos la secuencia del clúster 2 de la Fase I. Encuentra la ruta óptima en la iteración 12 con un total de 229. En la lista tabú quedan los 4 arcos: (70,71) ;(58,69) ;(92,75) ;(76,59).

Figura 27

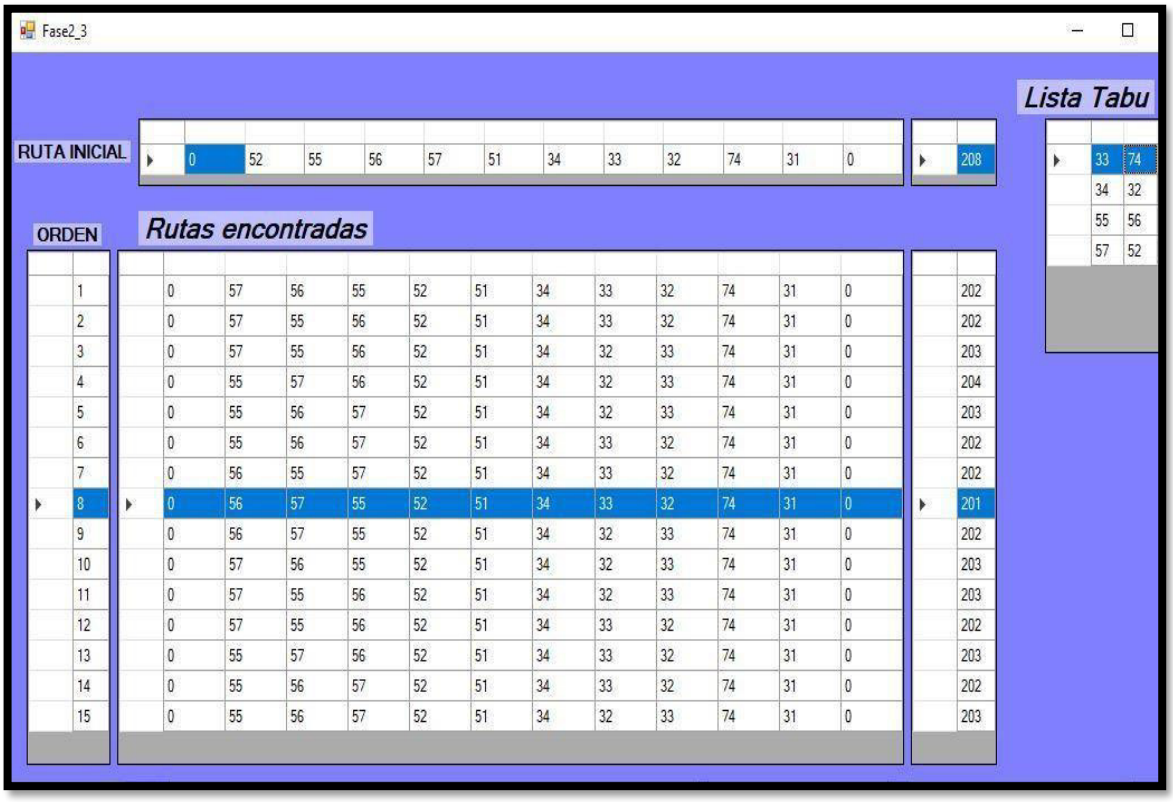
Ruta 3 Encontrada en la fase II



En la figura 27 como ruta inicial tenemos la secuencia del clúster 3 de la Fase I. Encuentra la ruta óptima en la iteración 10 con un total de 219 minutos. En la lista tabú quedan los 4 arcos: (49,50) ;(45,46) ;(91,64) ;(65,81).

Figura 28

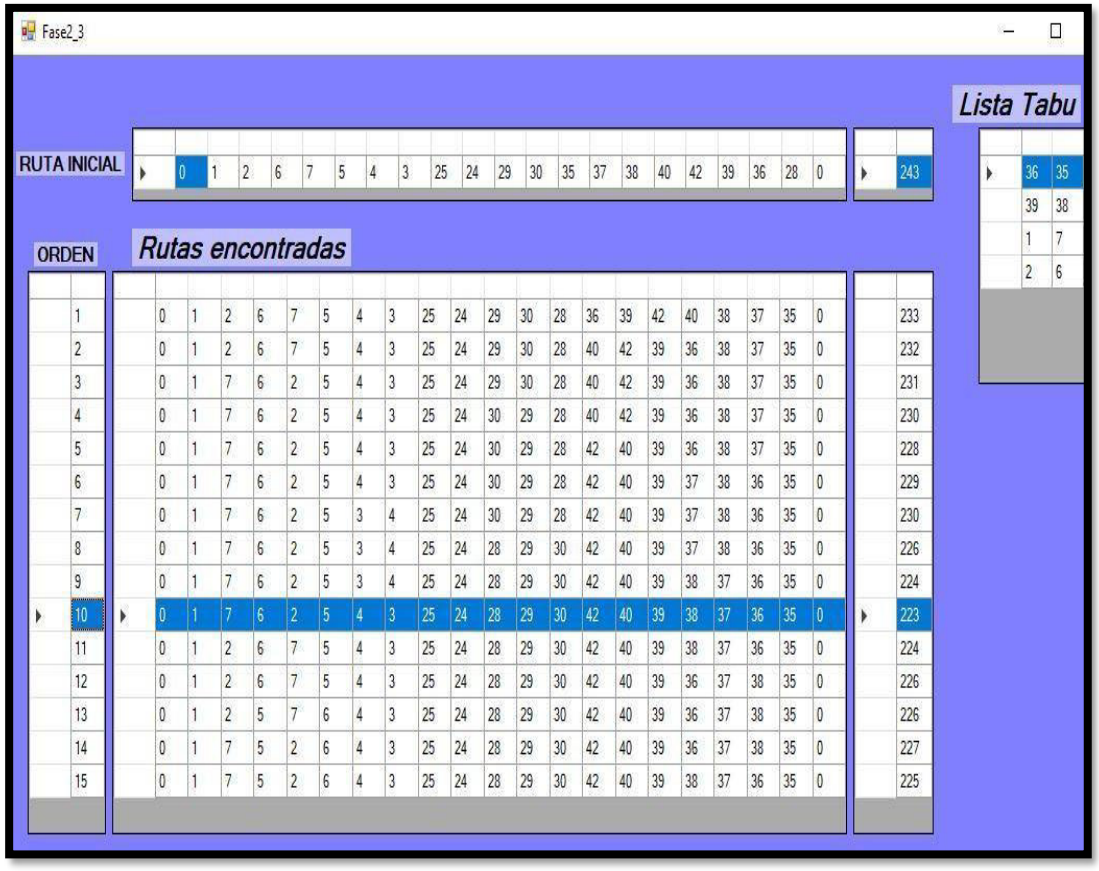
Ruta 4 Encontrada en la fase II



En la figura 28 como ruta inicial tenemos la secuencia del clúster 4 de la Fase I. Encuentra la ruta óptima en la iteración 8 con un total de 201 minutos. En la lista tabú quedan los 4 arcos: (57,52) ;(55,56) ;(34,32) ;(33,74).

Figura 29

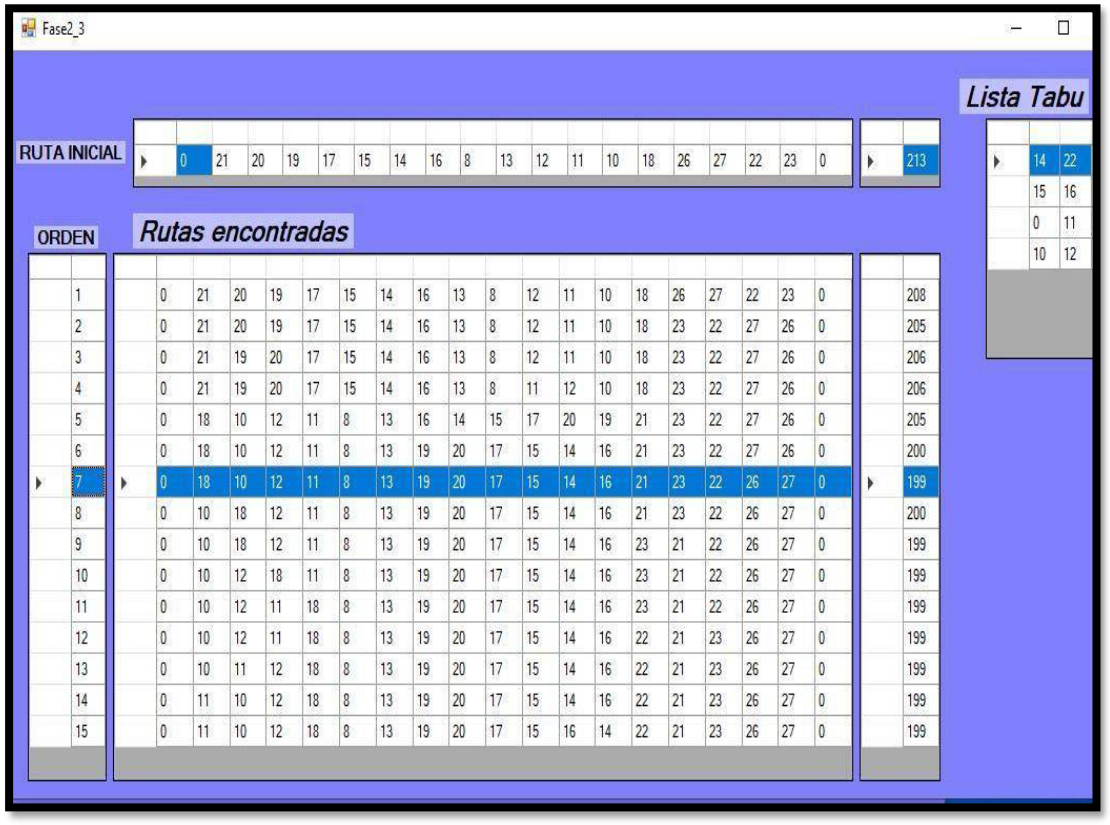
Ruta 5 Encontrada en la fase II



En la figura 29 como ruta inicial tenemos la secuencia del clúster 5 de la Fase I. Encuentra la ruta óptima en la iteración 10 con un total de 223 minutos. En la lista tabú quedan los 4 arcos: (2,6) ;(1,7) ;(39,38) ;(36,35).

Figura 30

Ruta 6 Encontrada en la fase II



En la figura 30 como ruta inicial tenemos la secuencia del clúster 6 de la Fase I. Encuentra la ruta óptima en la iteración 7 con un total de 199 minutos. En la lista tabú quedan los 4 arcos: (10,12) ;(0,11) ;(15,16) ;(14,22).

En la tabla 4 se muestra las 6 rutas encontradas en la fase II.

Tabla 5

Rutas en Encontradas en la Fase II

Rutas	Secuencia (Código de los locales)	Demanda (cajas)	Tiempo (min)
Ruta 1:	L0- L62- L89- L86- L90- L67- L66- L85- L88- L87- L93- L94- L95- L96- L84- L83- L82- L54- L48- L0	295	224
Ruta 2:	L0- L43- L53- L60- L61- L68- L63- L92- L76- L75- L59- L58- L70- L71- L69- L44- L41- L0	300	229
Ruta 3:	L0- L91- L64- L65- L81- L80- L78- L77- L79- L73- L72- L45- L46- L47- L49- L50- L9- L0	294	219
Ruta 4:	L0- L56- L57- L55- L52- L51- L34- L33- L32- L74- L31- L0	121	201
Ruta 5:	L0- L1- L7- L6- L2- L5- L4- L3- L25- L24- L28- L29- L30- L42- L40- L39- L38- L37- L36- L35- L0	291	223
Ruta 6:	L0- L18- L10- L12- L11- L8- L13- L19- L20- L17- L15- L14- L16- L21- L23- L22- L26- L27- L0	258	199
TOTAL		**1559**	**1295**

Tenemos 6 rutas donde: la primera ruta (R1) visita a 18 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 295 cajas con un tiempo recorrido de 224 minutos, la segunda ruta (R2) visita a 16 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 300 cajas con un tiempo recorrido de 229 minutos, la tercera ruta (R3) visita a 16 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 294 cajas con un tiempo recorrido de 219 minutos, la cuarta ruta (R4) visita a 10 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 121 cajas con un tiempo recorrido de 201 minutos, la quinta ruta (R5) visita a 19 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 291 cajas con un tiempo recorrido de 223 minutos, la sexta ruta (R6) visita 17 locales y el vehículo utiliza una capacidad de 258 cajas con un tiempo recorrido de 199 minutos. Donde tenemos un tiempo de recorrido acumulado de 1295 minutos.

5.1.8. Comparación de la secuencia a visitar en la fase I y fase II.

En las figuras de las rutas comparadas se observó la diferencia debido al cambio de la secuencia de locales de votación a visitar de la fase I a la fase II, es por ello, el cambio de las letras en la secuencia.

En la figura 31 y figura 32 se muestra la diferencia del recorrido que hace el camión de la ruta 1 en la fase I y fase II respectivamente.

Figura 31

Ruta 1 en la Fase I

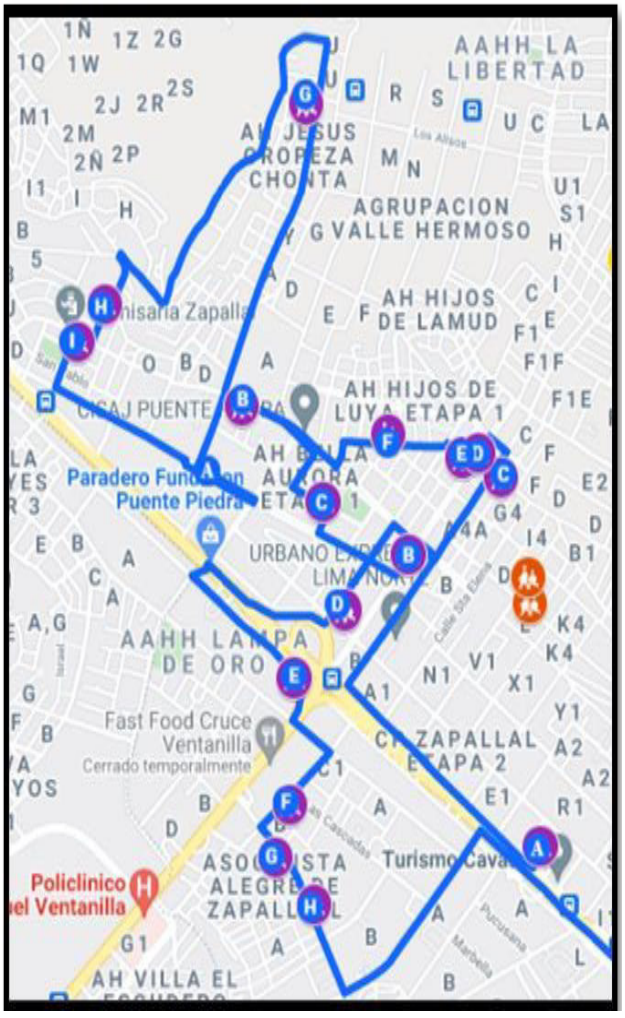
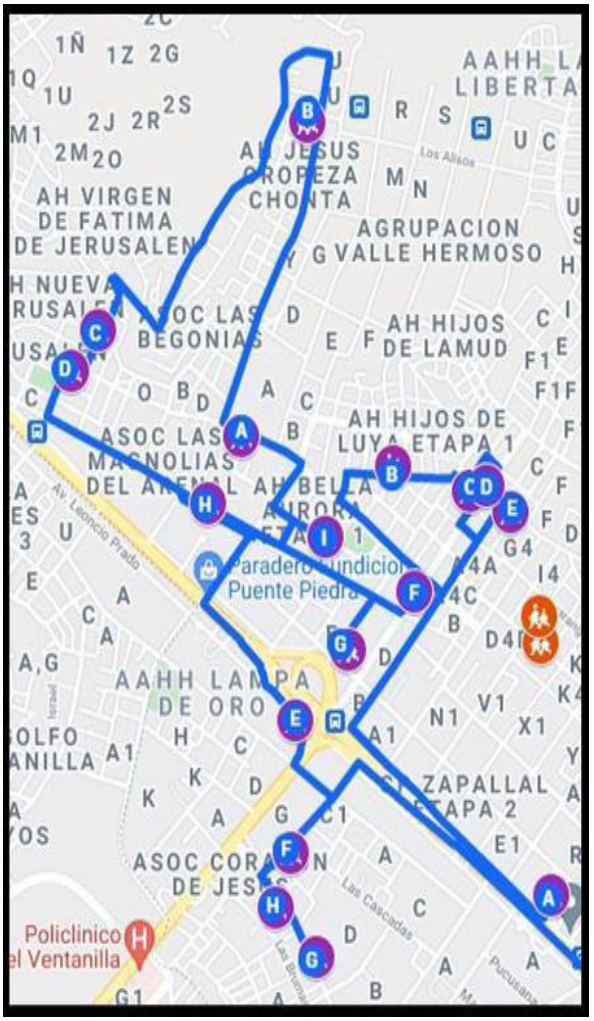


Figura 32

Ruta 1 en la Fase II



Nota. Elaboración propia con Google Maps

En la figura 33 y figura 34 se muestra la diferencia del recorrido que hace el camión de la ruta 2 en la fase I y fase II respectivamente.

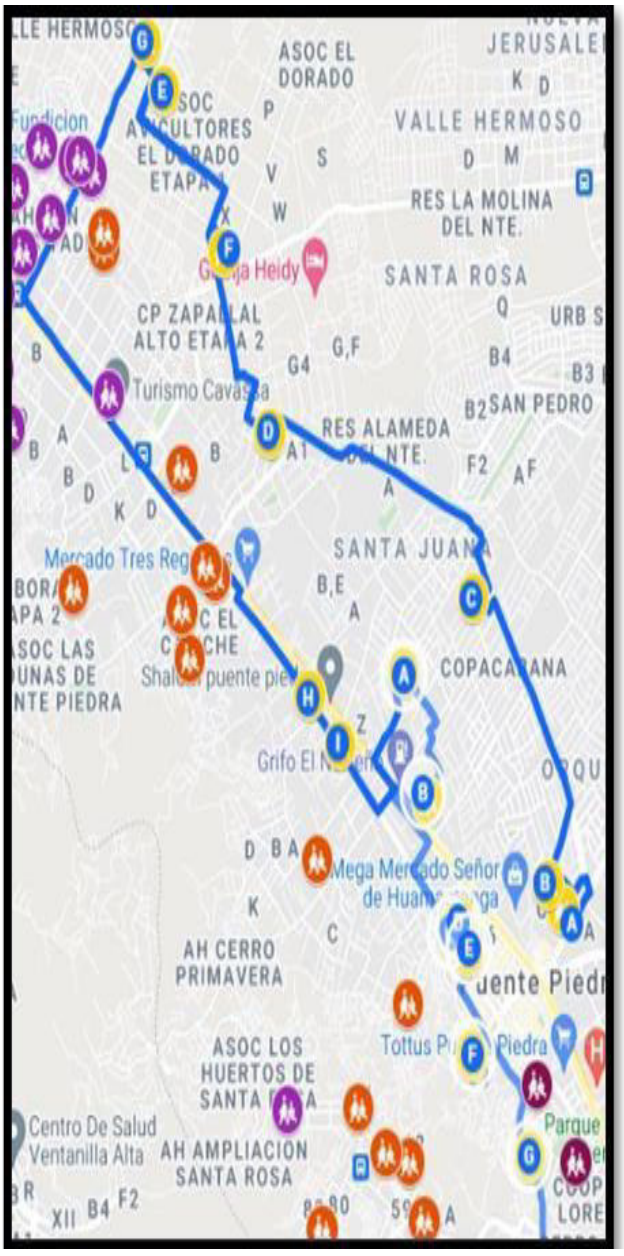
Figura 33

Ruta 2 en la Fase I



Figura 34

Ruta 2 en la Fase II



Nota. Elaboración propia con Google Maps

En la figura 35 y figura 36 se muestra la diferencia del recorrido que hace el camión de la ruta 3 en la fase I y fase II respectivamente.

Figura 35

Ruta 3 en la Fase I

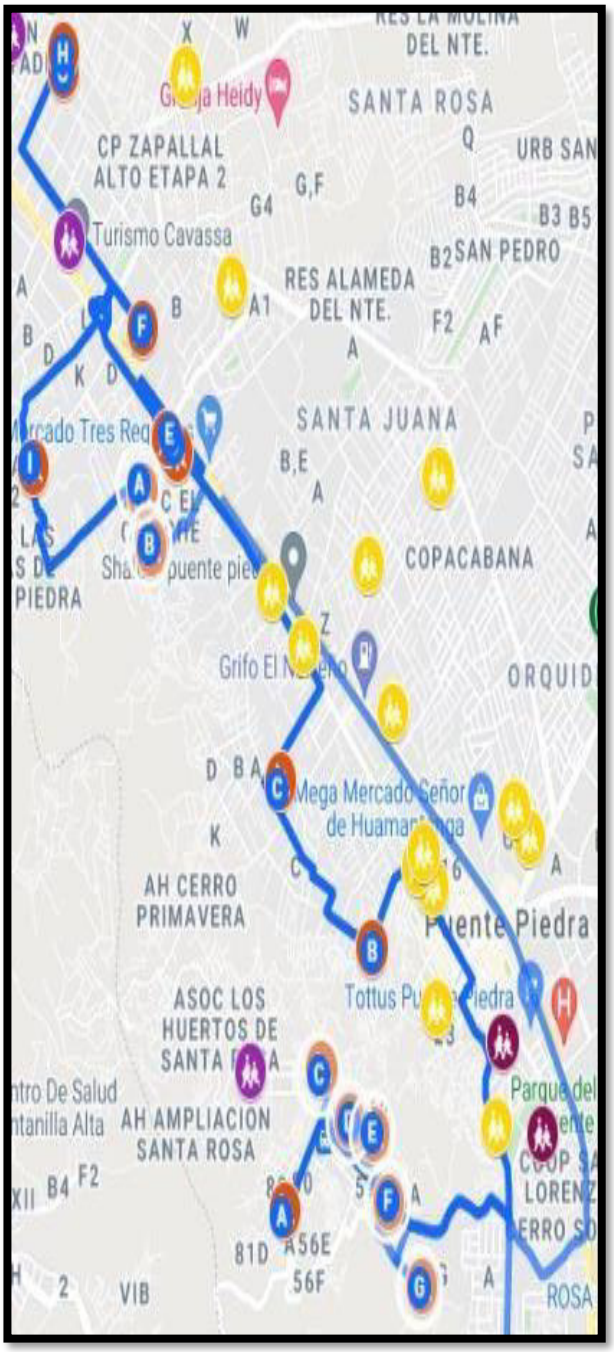


Figura 36

Ruta 3 en la Fase II



Nota. Elaboración propia con Google Maps

En la figura 37 y figura 38 se muestra la diferencia del recorrido que hace el camión de la ruta 4 en la fase I y fase II respectivamente.

Figura 37

Ruta 4 en la Fase I

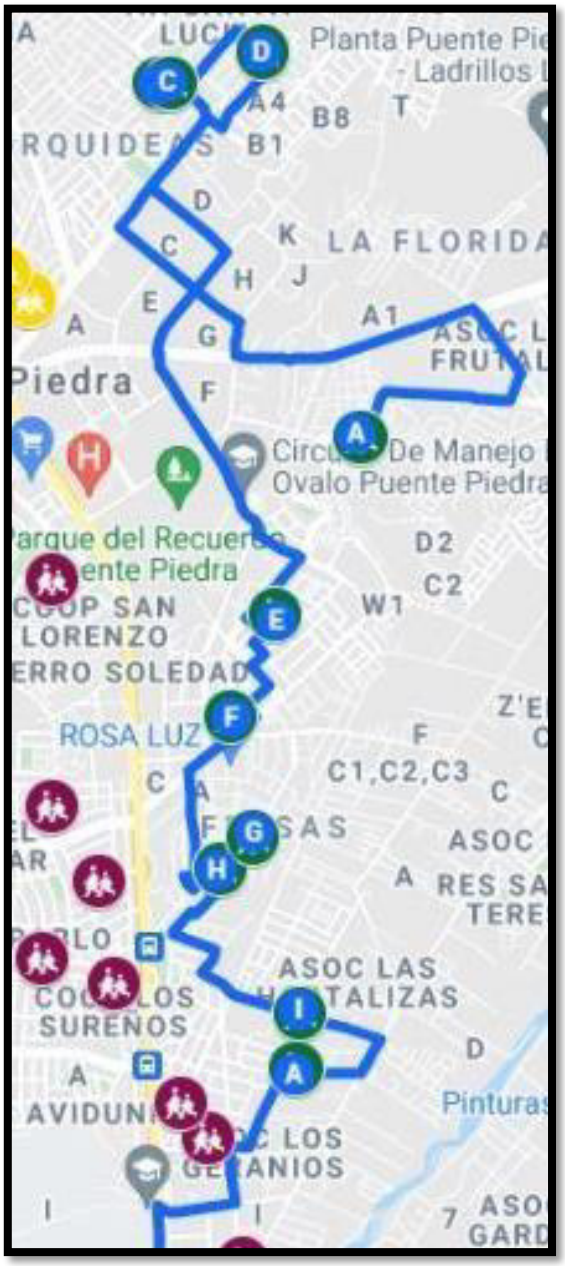
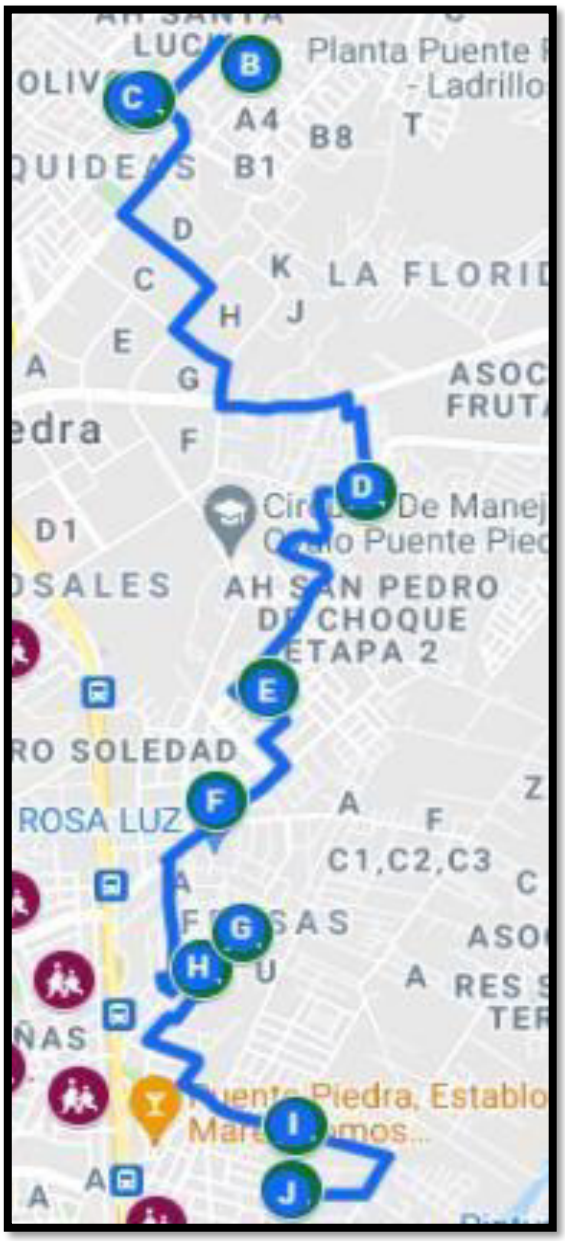


Figura 38

Ruta 4 en la Fase II



Nota. Elaboración propia con Google Maps

En la figura 39 y figura 40 se muestra la diferencia del recorrido que hace el camión de la ruta 5 en la fase I y fase II respectivamente.

Figura 39

Ruta 5 en la Fase I

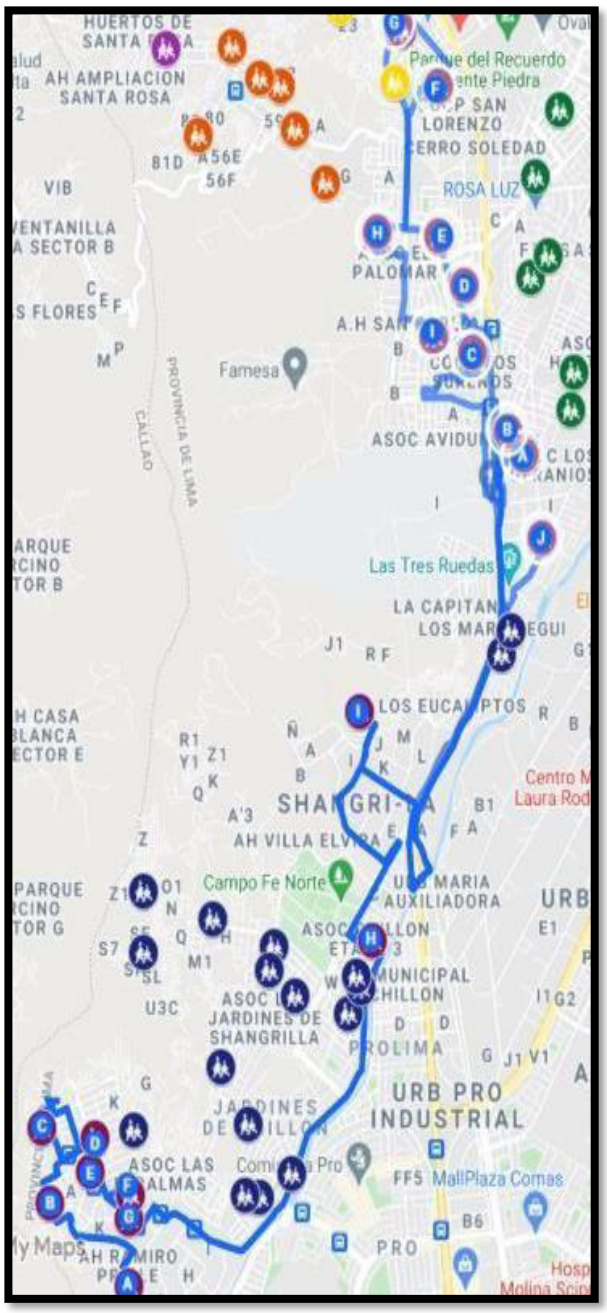


Figura 40

Ruta 5 en la Fase II



Nota. Elaboración propia con Google Maps

En la figura 40 y figura 41 se muestra la diferencia del recorrido que hace el camión de la ruta 6 en la fase I y fase II respectivamente.

Figura 41

Ruta 6 en la Fase I



Figura 42

Ruta 6 en la Fase II



Nota. Elaboración propia con Google Maps

5.2. Prueba de Hipótesis

5.2.1. Cuadro Comparativo del Tiempo de Recorrido en las 3 Situaciones.

A Continuación, se muestra una tabla 5 el resumen sobre el tiempo de recorrido acumulado en la situación actual, fase I y fase II.

Tabla 6

Resumen del tiempo de recorrido en las 3 situaciones

Ruta	Tiempo Recorrido Actual (Min)	Tiempo Recorrido Fase-I (Min)	Tiempo Recorrido Fase-II (Min)	Ahorro (Min)
Ruta 1:	223	230	224	-1
Ruta 2:	274	242	229	45
Ruta 3:	244	246	219	25
Ruta 4:	208	208	201	7
Ruta 5:	252	243	223	29
Ruta 6:	204	213	199	5
TOTAL	1405	1382	1295	110

En la situación actual se tuvo un tiempo de recorrido de 1405 minutos, en la fase I con el algoritmo de Clarke and Wright obtenemos el tiempo de recorrido menor que la situación actual en 23 minutos, en la fase II con el algoritmo de la Búsqueda Tabú mejora el tiempo de recorrido de la fase I en 87 minutos.

Obtenemos una diferencia entre la situación actual y la mejora con la heurística de dos fases en 110 minutos.

5.2.2. Cuadro Comparativo de costos en las 3 Situaciones.

En la tabla 6 se presenta el costo acumulado en las tres situaciones basado en el costo de la de cantidad de combustible utilizado en cada ruta.
El costo del galón de combustible diesel en marzo del 2021 en el mercado peruano fue de S/ 12,19 nuevos soles.
Un galón de combustible diesel alcanza para un recorrido de 4 kilómetros, de esto podemos decir que el precio del galón por kilómetro es de S/ 3,05 nuevos soles y el camión corre en promedio 0,81 kilómetros por minuto, entonces para encontrar el costo se utiliza la siguiente formula:
Costo por ruta = (kilómetros recorridos / minuto) * (precio del galón / kilómetro) *cantidad de minutos

Tabla 7

Resumen de los costos en las 3 situaciones

Ruta	Costo Actual	Costo Fase-I	Costo Fase-II	Ahorro
Ruta 1:	S/ 548,64	S/ 565,87	S/ 551,10	-S/ 2,46
Ruta 2:	S/ 674,12	S/ 595,39	S/ 563,41	S/ 110,71
Ruta 3:	S/ 600,31	S/ 605,23	S/ 538,80	S/ 61,51
Ruta 4:	S/ 511,74	S/ 511,74	S/ 494,52	S/ 17,22
Ruta 5:	S/ 619,99	S/ 597,85	S/ 548,64	S/ 71,35
Ruta 6:	S/ 501,90	S/ 524,04	S/ 489,60	S/ 12,30
TOTAL	S/ 3.456,71	S/ 3.400,12	S/ 3.186,08	S/ 270,63

En la situación actual se tuvo un costo de S/ 3.456,71, en la fase I obtenemos un costo menor que la situación actual en S/ 56,59, en la fase II con el algoritmo de la Búsqueda Tabú mejora el costo en S/ 214,04.
Obtenemos una diferencia entre la situación actual y la mejora con la heurística de dos fases en S/ 270,63.

CAPITULO VI: DISCUSIÓN

A continuación, con base a los resultados obtenidos en la presente investigación se evalúa y contrasta el comportamiento del modelo actual con el propuesto considerando los indicadores de tiempo de recorrido y costo de combustible.

El tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021 es de 1405 minutos, y luego de la ejecución del programa con los algoritmos de la heurística de dos fases alcanzó un tiempo de recorrido de 1295 minutos, lo que significa una reducción de 7,83% en tiempo de recorrido en el proceso de entrega. Se pudo encontrar una similitud en el trabajo de Julcapari (2018), En la implementación de un modelo de gestión de rutas para ICR PERU con el algoritmo de Clarke and Wright, donde mencionó que obtuvo una reducción de 4,75% en el tiempo de transporte. Mientras que Bedoya y Forero (2020) afirmaron que obtuvieron una reducción del tiempo de recorrido del 30,42% en la planificación de rutas escolares primero aplicando la cercanía de puntos y luego el algoritmo de Clarke and Wright.

Se llegó ahorrar S/ 270,63 soles en costo de combustible en el transporte de material electoral a los locales de votación del distrito de Puente piedra. Esto se debe a que el programa optimizó la ruta de reparto. Se pudo detectar coincidencias en el trabajo de Naranjo y Zamora (2019) donde se obtuvo una reducción de 5,13% de costo de reparto de alimentos escolares; también en Acarapi (2018) donde se llegó ahorrar cerca de S/ 5 272 .80 soles por día en la distribución de desayuno escolar en la ciudad La Paz; mientras que Mogollon y zafra (2019) señalan que se alcanzó una reducción del 17,09% en los costos de la distribución de balones de gas. Aplicando el algoritmo de Clarke and Wright.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

La aplicación de los algoritmos de la heurística de dos fases (Clarke and Wright-Búsqueda tabu), obtuvo una reducción del tiempo de recorrido acumulado de 1405 minutos a 1295 minutos en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021, lo que representa un ahorro del 7,83%.

Los algoritmos de Clarke and Wright y Búsqueda Tabu de la heurística de dos fases son factibles y efectivos para encontrar un modelo de rutas optimizando el tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021.

La matriz de distancias euclidianas y matriz de tiempos de recorrido entre los locales de votación y locales de votación con el centro de distribución ubicados en Google Maps permitió al programa minimizar el tiempo de recorrido de cada ruta encontrando la mejor secuencia de los locales de votación a visitar.

Al usar el software Visual Studio para el desarrollar el programa con los algoritmos Clarke and Wright y Búsqueda Tabu de la heurística de dos fases, fue posible encontrar un modelo de rutas que reduce el tiempo de recorrido actual en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021.

7.2. Recomendaciones

Es necesario recomendar a la ONPE que replique el diseño de rutas para la distribución de material electoral, ya que hemos demostrado que existen oportunidades de ahorro considerables, y para obtener un modelo más realista calcular los tiempos de carga y descarga del material a entregar, también emplear programas que reporten la situación del tráfico provocada por las vías con mayor congestión vehicular.

Dado que se rutea varios distritos en una elección presidencial o municipal, para agilizar el tiempo de ejecución de la heurística de dos etapas, se recomienda implementar un programa que pueda obtener automáticamente la latitud y longitud de un punto en Google Maps para encontrar la matriz de distancias.

Se recomienda a las entidades públicas o privadas que necesiten distribuir productos o personas implementar el programa apoyado en la heurística de dos fases (asignar primero-rutear después) utilizando los algoritmos propuestos para gestionar rutas y reducir costos operativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÀFICAS

Acarapi, F. (2018). *Diseño de un sistema de logística de distribución en el desayuno escolar de la ciudad de la paz para la empresa pública productivaLacteosbol*. [Para optar el grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial]. Universidad Mayor de San Andrés.

Anaya, J. (2007) Logística Integral: *la gestión operativa de la empresa*. 3era edición. Editorial ESIC, España.

Arianty, J. (2019). *Algoritma Clarke and Wright savings untuk optimasi rute pendistribusian air minum dalam kemasan*. [Diajukan untuk melengkapi tugas dan memenuhi syarat mencapai gelar Sarjana Sains]. Universitas Sumatera Utara Medan.

Arias Rojas, J.S. (2010). *Aplicación de un Modelo de Optimización en la Planeación de Rutas de los Buses Escolares del Colegio Liceo de Cervantes Norte*. [Trabajo de Grado para Ingeniería Industrial]. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Ballou, R. (2004), Logística: *administración de la cadena de suministro*, Pearson Education, México.

Bermeo Muñoz, Elver A., Calderón Sotero, Jaime Hernán (2009). "*Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte El hombre y la máquina*", Vol. XXI, Núm. 32, enero-junio, pp. 52-67 Universidad Autónoma de Occidente Colombia.

Bullnheimer, B. et al. (1999). "*An improved ant system for the vehicle routing problem*". Annals of Operations Research 89 pp. 319 – 328.

Campo, B.& Mendoza, A., (2018), Propuesta de un modelo de ruteo de vehículos abierto en una institución prestadora de servicios de salud, ORCID, 8.

Chopra, 2010, Gestión de la cadena de suministro*: estrategia, planificación y operación*, Educación Pearson.

Clarke, G. y Wright, JW (1964). *Programación de vehículos desde un depósito central hasta Número de puntos de entrega*, Investigación de operaciones, vol. 12, No. 4, 568-581.

Contreras Pinto, C.M., & Díaz Delgado. M.F. (2010). *Métodos Heurísticos para la Solución de Problemas de Ruteo de Vehículos con Capacidad (CVRP).* [Trabajo de Grado de Ingeniería Industrial]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

D.K Gupta. "*Tabu search for vehicle routing problem*", Intern. J. Computer Math, Vol. 79, No. 6, 2002, pp 693-701.

Dantzig, G. B. and Ramser. R.H. (1959). "*The Truck Dispatching Problem*". Management Science 6, 80–91.

Dastghaibyfard, Gholamhossein & Ansari, Ebrahim & Sheikhalishahi, Mehdi & A, Bavandpouri & Ashoor, Elmira. (2008). *A Parallel Branch and Bound Algorithm for Vehicle Routing Problem*. Lecture Notes in Engineering and Computer Science. 2169.

Daza, J.M., Montoya, J.R., Narducci, F., 2009. *Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento Metaheurístico de dos fases*. Revista EIA, ISSN 1794-1237, 12. Pp. 23-28.

Dorronso, B. (2006, noviembre). *The VRP Web*. AUREN. http://www.bernabe.dorronsoro.es/vrp/

Dreo, J., A. Petrowsky, P. Siarry, E. Taillard. 2006. Meta - *Heurustic for HardOptimización: métodos y casos de estudio*. Berlín: Springer.

El Comercio. (2021, febrero 25). ONPE: *¿Cuántos locales de votación estarán habilitados para las elecciones del 11 de abril?* https://elcomercio.pe/respuestas/onpe-cuantos-locales-de-votacion-estaran-habilitados-para-las-elecciones-del-11-de-abril-miembros-de-mesa-elecciones-2021-presidenciales-congresales-revtli-noticia/

Elecciones en Perú. (2021, 3 de junio). Wikipedia, La enciclopedia libre. Fecha de consulta: 03:17, junio 16, 2021 desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Elecciones_en_Per%C3%BA&oldid=136041073.

Elecciones Generales de Perú de 2021. (2021, 15 de junio). Wikipedia, La enciclopedia libre. Fecha de consulta: 03:17, junio 16, 2021 desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Elecciones_generales_de_Per%C3%BA_de_2021&oldid=136362310.

Euronews. (2021, marzo 28). *Perú prepara la logística para las elecciones del 11 de abril.* https://es.euronews.com/2021/03/28/el-candidato-de-centroizquierda-yonhy-lescano-favorito-a-la-presidencia-de-Perú.

Garey, M. R., Johnson, D.S. (2003). "*Computers and intractability, A Guide to the theory of NP-Completeness*". W. H. Freeman and Company, NewYork. USA.

Gilbert Laporte, Alain Hertz y Michel Mittaz, "*A tabu search heuristic for the capacited arc routing problem*", Institute for Operation Research and de Management Science – Operations Research, Vol. 48, No. 1, 2000, pp 129-135.

Gillett, B., Miller, L. (1974) *A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem*. Operations Research 22, 340–349.

Glover, F. (1986) *"Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence"*, Computers and Operations Research. 5. 533-549.

Glover F., Laguna M. (1997) Tabu Search Principles. In: *Tabu Search. Springer*, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6089-0_5

Glover, F., Laguna, M. and Martí R. (2006) Principles of Tabu Search. *To appear in Approximation Algorithms and Metaheuristics*, Chapman & Hall/CRC.

Gutierrez, Gil. (1998), Logística y distribución física: "*evolución, situación actual, análisis comparativo y tendencias"*, Primera Edición. Madrid: Editorial McGraw-Hill.

Hernández, S., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Editorial McGraw-Hill.

Hillier, F., & Lieberman, G. (2006). *Introducción a la investigación de operaciones*. McGraw-Hill Interamericanas editores S.A.

Julcapari, S. (2018). *Sistema web para la gestión de rutas de transporte basado en el algoritmo de Clarke and Wright en ICR PERÚ*. [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero de sistemas]. Universidad Cesar Vallejo.

Laporte, G. (1992). The Vehicle Routing Problem: *An overview of exact and aproximate algorithms*. European Journal of Operations Research 59: 345-358.

Leonora Bianchi, Mauro Birattari, Marco Chiarandini, Max Manfrin y Monaldo Mastrolilli, "Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands", Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3242, 2004, pp 450-460

López, E. (2011) El Agente Viajero: *Un AlgoritmoDeterminístico. Tesis de Licenciatura en Matemática*, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Lüer et al., (2009). El problema de rutas de vehículos: *Extensiones y métodos de resolución, estado del arte*. Workshop Internacional, pp. 8. Diciembrer 3-4. Temuco, Chile.

Mauleón, T. (2013) *Transporte, operadores, redes*. Editorial Díaz de Santos.

Michel Gendreau, François Guertin, Jean-Yves Potvin, Éric Taillard, (1999) Parallel Tabu Search for Real-Time Vehicle Routing and Dispatching. Transportation Science 33(4):381-390.

Mogollon, f.; & Zafra, A. (2019). *Diseño de un modelo de distribución y transporte y su impacto en los costos del centro de distribución de la empresa Costa Gas S.A.C*. [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero industrial]. Universidad Privada Antenor Orrego.

Muñoz, B., Elver, A., Calderón, S., Hernán, J., (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El hombre y la máquina*, 32. pp. 52-67.

Naranjo, Y.; & Zamora, C. (2019). *Propuesta de ruteo para vehículos de carga en la distribución de productos en la empresa LA EMPRETRIZ S.A.S*. [Trabajode grado para optar al título como profesional en Ingeniería Industrial]. Universitaria Agustiniana.

Octora, L. 2014. *Formación de rutas de distribución mediante el algoritmo de Clarke.Y el algoritmo de inserción secuencial y ahorros de Wright*. Diario en líneaInstituto Nacional de Tecnología de Bandung.

Olivera, A. (2004), *Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos*, reporte de investigación, Instituto de Computación – Facultad de Ingeniería,63.

Oficina Nacional de Procesos Electorales. (s.f). web informativa. Recuperado 10 de abril 2020. https://www.onpe.gob.pe/modElecciones/elecciones/2021/SEP/

Phillips, D., Ravindran, A., Solberg, J. (1976) Operations Research: *Principles and Practice*, John Wiley & Sons, Inc.

Pooja, C. (2019, abril 11). 900 millones de votantes: *¿cómo hace India para organizar las mayores elecciones del mundo?* BBC NE WS Mundo. https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-47878089

Problema del Agente Viajero – TSP (s.f). Ingeniería Industrial Online. Consultado el 2 de noviembre de 2015, de http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/problema-del-agente-viajero-tsp/

Raffino, M. (2020) "Lenguaje de Programación", Argentina. Disponible en: https://concepto.de/lenguaje-de-programacion/.

Reimann, Marc & Stummer, Michael & Doerner, Karl. (2002). *A Savings Based Ant System For The Vehicle Routing Problem*. 1317-1326.

Rivera, F. (2019). *Propuesta de rutas optimizadas para el recojo de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Jauja en el año 2018*. [Tesis para optarpor el título profesional de ingeniería industrial]. Universidad Continental.

Robusté Antón, F. (2005). *Logística del Transporte*. Catalunya: Ediciones UPS

Rocha, L., González, C., Orjuela, J., 2011. State of the art review of the vehicle routing problem: *A historic account with solving methods*. Ingenería, 16, 35-55.

Stewart, W. y Golden, B. (1983). “Stochastic Vehicle Routing: A Comprehensive Approach”. European Journal of Operational Research 12: 371 - 385.

Tjiptono, F. 2008. Estrategia de marketing. *Yogyakarta*: Andi. Editorial

Toth, P., Vigo, D., 2001. An overview of vehicle routing problems. *In the Vehicle Routing Problem*. Ed. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.

Toth P, Vigo D. (2002). Una descripción general de los problemas de generación de rutas de los vehículos. Dentro de Toth, P et al., Editor. El problema de generación de rutas para vehículos. Filadelfia: Siam. Pág. 1-26.

Tvpe noticias. (2021, abril 10). *ONPE inició distribución de material electoral en Lima y Callao*. https://www.tvperu.gob.pe/noticias/nacionales/onpe-inicio-distribución-de-material-electoral-en-lima-y-callao.

USAGov en español. (2020, diciembre 07). *Elecciones legislativas, estatales y locales en EE. UU*. https://www.usa.gov/espanol/elecciones-estatales-locales

Yeun, C. L., Ismail W.R., Omar K., Zirour, M. (2008) Vehicle routing problem: *models and solutions. Journal of Quality Measurement and Analysis*. 4(1), 205-218

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Problema General	**Objetivo General**	**Hipótesis General**	**Variables Independiente**	
¿Es posible con la heurística de dos fases reducir el tiempo de recorrido actual en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las elecciones generales 2021?	Reducir el tiempo de recorrido actual mediante la heurística de dos fases en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las elecciones generales 2021.	La heurística de dos fases permite reducir el tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las elecciones generales 2021.	Heurística de dos fases **Dimensiones** Algoritmo de Clarke and Wright Algoritmo de Búsqueda Tabú **Indicadores** Tiempo de recorrido (min.) Costo en combustible(S/.)	**Método** cuantitativo
Problema Específicos	**Objetivos Específicos**		**Variables Dependiente**	
¿Qué algoritmos será necesario aplicar en la heurística de dos fases para optimizar el tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las elecciones generales 2021?	Identificar algoritmos de la heurística de dos fases necesarios para optimizar el tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021.		Tiempo de recorrido **Dimensiones** Rutas Nº de locales **Indicadores** Nº de rutas Nº mesas de sufragio Nº de electores	**Tipo de Investigación** Aplicada
¿Cuáles son los tiempos de recorrido entre los locales de votación del distrito de Puente Piedra y el centro de distribución en las elecciones generales 2021?	Ubicar el centro de distribución y locales de votación del distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021 en Google Maps con sus respectivos tiempos de recorrido entre cada punto de origen y destino.			**Diseño De Investigación** No Experimental
¿Qué software se utilizará para generar un modelo de rutas que logre reducir el tiempo de recorrido actual en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las elecciones generales 2021?	Identificar un software que se utilizará para generar un modelo de rutas que optimice el tiempo de recorrido en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021 con los algoritmos de la heurística de dos fases.			**Población y Muestra** las 6 rutas realizadas en la distribución de material electoral al distrito de Puente Piedra en las Elecciones Generales 2021
				Instrumentos Cuestionario Ficha de registro de datos

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2: Instrumento de la recolección de datos

Ficha de recolección de datos

CÓDIGO	DISTRITO	NOMBRE DE LOCAL DE VOTACIÓN	DIRECCION DE LOCAL DE VOTACIÓN	CANTIDAD DE MESAS	CANTIDAD DE ELECTORES	RUTA	ORDEN	CANTIDAD DE CAJAS	COORDENADAS	
									X	Y

Cuestionario

Entrevista Dirigida al Chofer Encargado de la Distribución de Material Electoral

Tema: Información sobre la ficha técnica de los vehículos

Fecha: 10/04/2021

Nombre del Entrevistado: JONATAN CONDORI QUISPE

Empresa: J & J TRANSPORTES Y SOLUCIONES INTEGRALES

Objetivo: Conocer las características de los vehículos para fines de investigación científica.

PREGUNTAS:

1. ¿Qué modelo de vehículo utiliza la empresa para distribuir el material electoral?
2. ¿Cuál es la capacidad de carga de los vehículos, en cajas a transportar?
3. ¿Cuál es número de placa de tu vehículo a cargo?
4. ¿Cuáles fueron las actividades que se llevaron a cabo para la distribución del material electoral?

Anexo 3: Lista de los Locales de Votación con su Respectiva Demanda

CÓDIGO	NOMBRE DE LOCAL DE VOTACIÓN	DIRECCION DE LOCAL DE VOTACIÓN	CANTIDAD DE CAJAS
L1	8179 RAMIRO PRIALE	CALLE LAS ACACIAS SN MZ O	9
L2	589 ESTRELLA DEL SABER	AV JOSE MARTIN CDRA 3 SN	10
L3	IE MODULO LA ENSENADA DE CHILLON	AV LAS ACACIAS SN	12
L4	ESTADIO SEMIRUSTICO LA ENSENADA	CALLE LOS SAUCES SN	23
L5	IE 2081 PERU SUIZA	AV LAS PALMERAS SN	23
L6	LOSA APROVIET AAHH SIMON BOLIVAR	AAHH SIMON BOLIVAR - PARTE ALTA	18
L7	I.E 350	CALLE CONQUISTADORES SN	13
L8	LOSA MULTIDEPORTIVA ENSENADA DE CHILLON	CALLE CIPRESES SN	14
L9	LOSA POLIDEPORTIVO IPD	CALLE LOS SAUCES SN	22
L10	IEP CASTILLO DEL REY	ASOCIACION DE VIVIENDA CHILLON MZ H LT 42	20
L11	IEP SAN AGUSTIN	CALLE PONCIANAS SN MZ K LT 46	15
L12	IE 5187 LOS PORTALES DE CHILLON	CALLE 22 SN	13
L13	601 KUMAMOTO III	AAHH LADERAS DE CHILLON MZ X1 LOTE 49 ETAPA III	9
L14	8194 LOS DISCIPULOS DE JESUS	MZ Z1 LOTE 172-173	12
L15	IE 3092 KUMAMOTO I	AV 15 DE JUNIO SN	23
L16	LOSA DEPORTIVA INTEGRACION DE LAS LADERAS	CALLE INTEGRACION SN	12
L17	ESTADIO LADERAS DE CHILLON	CALLE 15 DE JUNIO SN	35
L18	IEP SANTA ELENA	MZ A LT 12	10
L19	IE 5182 SEÑOR DE LOS MILAGROS	CALLE DOS SN	13
L20	JULIO RAMON RIBEYRO	CALLE 3 MZ M LOTE 37-40	19
L21	I.E.I 8178	CALLE 5, 21, 22 SN ASOCIACION RESIDENCIAL SAUCES	12
L22	I.E.I 606	MZ Q LOTE 35	9
L23	IEP BUENAVENTURA DE JESUS	MZ R LT 17 4 ETAPA ASOCIACION DE VIVIENDA CHILLON	9
L24	IE 2068 JOSE MARIA ARGUEDAS	AV INDEPENDENCIA SN	12
L25	IE 5171 TUPAC AMARU II	CALLE 12 SN	13
L26	IE 5173 GUSTAVO MOHME LLONA	AV TIWINZA SN	15
L27	IEP DIVINO CORAZÓN DE JESUS	ASOC PANAMERICANA MZ B LT 1-2 KM 26 PANAM. NORTE	18
L28	IEP LOS CERVANTINOS	CALLE SN MZ J LOTE 3 - 5	12
L29	I.E.I 603	JR NUESTRA SRA DE GUADALUPE MZ C	9
L30	IE 5170 PERU ITALIA	CALLE 2 SN	19
L31	SANTA TERESA DE JESUS	CARRETERA CARROZABLE EX CAT GALLINAZOS LTDA 54 SN	15
L32	IEP SANTA MONICA	MZ A LOTE 3 ASOCIACION DE VIVIENDA LAS FRESASKM 28	12
L33	DESPERTAR	MZ X LOTE 14 URB LAS FRESAS	17
L34	IE 5181 JOSE OLAYA BALANDRA	CALLE 3 SN	14
L35	IE 5176 MARIA REICHE GROSSE	CALLE 2 SN	20
L36	604 LAS BEGONIAS	MZ I LT SN	9
L37	IE 5179 LOS PINOS	MZ E LT 18	23
L38	IE 5168 ROSA LUZ	JR LAS ORQUIDEAS 319	20
L39	5169 RAMIRO PRIALE PRIALE	JR HUARAZ SN	14
L40	IEP CESAR VALLEJO	ASOCIACION DE PROPIETARIOS VILLA LOS OLIVOS MZ A LT 6	15
L41	IE 333	AAHH 9 DE JUNIO MZ D LOTE 10	8
L42	IE AUGUSTO B LEGUIA	AV BUENOS AIRES SN	17
L43	ESTADIO MUNICIPAL DE PUENTE PIEDRA	AV SAN LORENZO SN	31
L44	IE 3071 MANUEL TOBIAS GARCIA CERRON	CALLE 9 DEJUNIO SN	35
L45	IE 2069 SANTA ROSA	JR CARMEN ALTO SN	18
L46	MARIA REYNA DE LA PAZ	CALLE HUANCAYO 491	13
L47	IE 3711 FE Y ALEGRIA 12	JR AYACUCHO SN	20
L48	LOSA DEPORTIVA HUANCAYO	CALLE HUANCAYO SN	10
L49	MODULO SANTA ROSA	JR TACNA SN	12
L50	ESTADIO SANTA ROSA DE PUENTE PIEDRA	AV SANTA ROSA SN	35
L51	608 MERCURIO	MZ D LOTE 21	9
L52	2064 REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA	AV SAN PEDRO DE CHJOQUE SN	20
L53	CRISTO REY EL SALVADOR	ASOCIACION HUERTOS DE COPACABANA MZ C LOTE 1	13
L54	IEP CIENCIAS SIGLO XXI	MZ A2 LOTE 13- 14 URBANIZACION PANCHA PAULA	12
L55	IEP CORAZON DE JESUS EL ROBLE II	MZ H LT 1-2-3 URBANIZACION EL ROBLE II	10
L56	IEP CORAZON DE JESUS EL ROBLE I	MZ G LT 1,2 Y 6 URBANIZACION EL ROBLE I	7
L57	8191 VIRGEN DE ARANZAZU	MZ C4 LOTE 11 CALLE SAN RAMON	8
L58	IEP SAN MIGUELITO	PSJE SAN MIGUEL SN MZ A LT 6-A	10
L59	INGENIEROS UNI DE PUENTE PIEDRA	AV PRINCIPAL SN MZ D LT 4 ASOCIACION SEÑOR DE LA SOLEDAD	19
L60	IEP DANIEL ALCIDES CARRION	PROGRAMA DE VIVIENDA LAS MAGNOLIAS MZ L LT 22	18
L61	IE 5177 ALAMEDA DEL NORTE	CALLE 9 SN	15
L62	IE 2067 LEONCIO PRADO	AV LEONCIO PRADO SN	19
L63	IE 3073 EL DORADO	CALLE JULIO DIAZ SN	23
L64	IEP GOOD PEOPLE PRIMARIA	CALLE SAN CARLOS MZ E4 LT 2 ZAPALLAL ALTO	19
L65	GOOD PEOPLE	CALLE MARIANO MELGAR SN MZ D4A LOTE 13-16 ETAPA I	15
L66	CAMPO SINTETICO SAN JUDAS TADEO	AV LOS LIRIOS SN	18
L67	LOSA DEPORTIVA LOS GERANIOS ZAPALLAL	AV SAN MARTIN SN	19
L68	LOSA DEPORTIVA SINTETICA LOS ZORSALES DE ZA	CALLE 18 SN AAHH LOS ZORSALES DE ZAPALLAL	13
L69	IEP MARIANO SANTOS	AV SAENZ PEÑA 574	13
L70	IE 3719 PARROQUIAL SANTISIMA TRINIDAD	AV SAENZ PEÑA SN	14
L71	IEP SAN MIGUEL ARCANGEL	AV SAENZ PEÑA CUADRA 6	22
L72	IEP ALFRED NOBEL	AV HEROES DEL CENEPA 952	13
L73	8180 CELSO LINO RICALDI	CALLE SAN MARTIN MZ K LOTE 34	18
L74	613 VIRGEN DE FATIMA	1 DE MAYO SN MZ D LOTE 24	9
L75	IEP MIGUEL DE CERVANTES LOCAL DON QUIJOTE	AV BUENOS AIRES SN CUADRA 15	23
L76	IE 3070 MARIA DE LOS ANGELES	AV BUENOS AIRES SN CUADRA 17 MZ K LT 19	20
L77	TESLA SCHOOL	CALLE LOS NARANJOS SN LOTE 197-F	19
L78	CANCHA DEPORTIVA EL CALICHE	AV PRIMAVERA SN	23
L79	IEP AUGUSTE RENOIR	AV BUENOS AIRES AIRES SN	13
L80	IEP SOPHIANUM ZAPALLAL SAC	AV BUENOS AIRES 2665	23
L81	5178 VICTOR ANDRES BELAUNDE	AV TARAPACA SN	18
L82	IE 3088 VISTA ALEGRE	CALLE LAS CONCHITAS SN	20
L83	VIRGEN DE GUADALUPE	AV SAN FRANCISCO SN MZ G LOTE 3-4	20
L84	COLEGIO GENES DEL NORTE	URB LEONCIO PRADO MZ N LT 169	18
L85	IE 5167 VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE	JR JUAN PABLO II SN	15
L86	LOSA DEPORTIVA 28 DE NOVIEMBRE	AV SAN JUDAS TADEO SN	18
L87	IE 5166 BELLA AURORA	JR FRANCISCO BOLOGNESI SN	18
L88	LOS AMAUTAS DE ZAPALLAL	MZ I LOTE 13 ASOCIACION LAS MAGNOLIAS	15
L89	5172 HIJOS DE LUYA	JR AREQUIPA SN	18
L90	INICIAL 609	AV SAN JUDAS TADEO SN MZ B2 LOTE 11	9
L91	LOSA DEPORTIVA DEL COLEGIO PITAGORA	SECTOR A - LOMAS DE ZAPALLAL	13
L92	8183 PITAGORAS	CALLE 6 MZ Y1 SN	23
L93	IEP LAS AMERICAS	AV LOS LIRIOS MZ A LT 7 Y 8	19
L94	5165 REPUBLICA DE SUECIA	CALLE HUSARES DE JUNIN SN MZ S LOTE 6 Y 7	17
L95	IE 2076 ABRAHAM LINCOLN	JR SAN LUCAS SN	20
L96	331 DIVINO NIÑO JESUS	JR GALILEO SN	10

Anexo 4: Pseudocódigo de la Fase I y Fase II

```
Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button2.Click
    'MatrizAhorro.Show()

    Dim Num_destinos, Cap_vehiculo As Integer
    Num_destinos = Val(Pantalla_Principal.TextBox1.Text) ' N° de destinos
    Cap_vehiculo = Val(Pantalla_Principal.TextBox2.Text) ' Capacidad del vehiculo

    'Aqui pasa los datos de la matriz de distancia a una matriz interna

    Dim Matriz_Tiempo(0 To TDistancia.ColumnCount - 1, 0 To TDistancia.RowCount - 1) As Double

    For i = 0 To TDistancia.RowCount - 1 ' Fila
        For j = 1 To TDistancia.ColumnCount - 1 'Columna
            Matriz_Tiempo(i, j - 1) = TDistancia(j, i).Value
        Next
    Next
    RutasFase1.DataGridView2.ColumnCount = 3
    RutasFase1.DataGridView2.RowCount = 1
    RutasFase1.DataGridView2(0, 0).Value = "Ahorro"
    RutasFase1.DataGridView2(1, 0).Value = "X"
    RutasFase1.DataGridView2(2, 0).Value = "Y"

    'Hallando el ahorro
    Dim a, b As Integer
    Dim ahorro As Double

    For i = 1 To TDemanda.ColumnCount - 2
        a = TDemanda(i, 0).Value
        For j = i + 1 To TDemanda.ColumnCount - 1
            b = TDemanda(j, 0).Value
            ahorro = Matriz_Tiempo(0, a) - Matriz_Tiempo(a, b) + Matriz_Tiempo(0, b)

            RutasFase1.DataGridView2.RowCount = RutasFase1.DataGridView2.RowCount + 1
            RutasFase1.DataGridView2(0, RutasFase1.DataGridView2.RowCount - 1).Value = ahorro
            RutasFase1.DataGridView2(1, RutasFase1.DataGridView2.RowCount - 1).Value = a
            RutasFase1.DataGridView2(2, RutasFase1.DataGridView2.RowCount - 1).Value = b
        Next
    Next
    ''Ordenando los ahorros

    Dim f1, c1, f2, c2 As Integer
    Dim sube, baja As Double

    For i = 1 To RutasFase1.DataGridView2.RowCount - 1
        For j = 1 To RutasFase1.DataGridView2.RowCount - 1

            If RutasFase1.DataGridView2(0, i).Value >= RutasFase1.DataGridView2(0, j).Value Then
                baja = RutasFase1.DataGridView2(0, i).Value
                sube = RutasFase1.DataGridView2(0, j).Value

                f1 = RutasFase1.DataGridView2(1, i).Value
                c1 = RutasFase1.DataGridView2(2, i).Value

                f2 = RutasFase1.DataGridView2(1, j).Value
                c2 = RutasFase1.DataGridView2(2, j).Value

                RutasFase1.DataGridView2(0, i).Value = sube  ''''reubicando
                RutasFase1.DataGridView2(1, i).Value = f2
                RutasFase1.DataGridView2(2, i).Value = c2
                RutasFase1.DataGridView2(0, j).Value = baja    ''''reubicando
                RutasFase1.DataGridView2(1, j).Value = f1
                RutasFase1.DataGridView2(2, j).Value = c1
            End If
        Next
    Next
```

Parte del pseudocódigo de Clark and Wrigth

```
        ''Eliminando los arcos con ahorros menores a cero


        'Datos relevantes:

        'Las distancias
        'M_Distancias(a, b)

        '*********************************************************
        '*********************************************************


        RutasFase1.DataGridView1.ColumnCount = 2
        RutasFase1.DataGridView1.RowCount = 1

        RutasFase1.DataGridView3.ColumnCount = Num_destinos
        RutasFase1.DataGridView3.RowCount = 1

        For p = 0 To RutasFase1.DataGridView3.ColumnCount - 1
            RutasFase1.DataGridView3(p, 0).Value = 0
        Next



        RutasFase1.Show()

    End Sub
    'Capacidad del vehiculo
    Dim capacidad As Double = Val(Pantalla_Principal.TextBox2.Text)
    Dim x, y As Integer

    For i = 1 To DataGridView2.RowCount - 1

        x = DataGridView2(1, i).Value
        y = DataGridView2(2, i).Value
        DataGridView1.RowCount = 2
        DataGridView1(0, 0).Value = x
        DataGridView1(1, 0).Value = y
        DataGridView1(0, 1).Value = 0
        DataGridView1(1, 1).Value = 0

        '1) Buscar los arcos si se encuentran en las rutas creadas

        For fil = 0 To DataGridView3.RowCount - 1
            For col = 0 To DataGridView3.ColumnCount - 1

                If DataGridView1(0, 0).Value = DataGridView3(col, fil).Value Then   ' si x se encuentra dentro de alguna ruta
                    DataGridView1(0, 1).Value = 1
                End If

                If DataGridView1(1, 0).Value = DataGridView3(col, fil).Value Then ' si y se encuentra dentro de alguna ruta
                    DataGridView1(1, 1).Value = 1
                End If
            Next
        Next

        '2) Analizar los arcos

        ' *******  Anadir nueva ruta
        If DataGridView1(0, 1).Value = 0 And DataGridView1(1, 1).Value = 0 Then

            Dim dema_x, dema_y As Double

            dema_x = demanda(x)   ' ANALIZAAAAAARRRRR SI ES NECESARIO LAS DEMANDAS
            dema_y = demanda(y)

            ' 1 --- > Analizar si no pasa la capacidad del vehiculo

            If dema_x + dema_y <= capacidad Then
                DataGridView3.RowCount = DataGridView3.RowCount + 1

                For p = 0 To DataGridView3.ColumnCount - 1
                    DataGridView3(p, DataGridView3.RowCount - 1).Value = 0
                Next

                DataGridView3(0, DataGridView3.RowCount - 1).Value = x
                DataGridView3(1, DataGridView3.RowCount - 1).Value = y


            End If

        End If
```

Parte del pseudocódigo de Clarke and Wright

```
Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button1.Click

    'Pasando la solucion inicial a la tabla de resultados

    Fase2_3.DataGridView4.ColumnCount = Fase2_1.DataGridView2.ColumnCount
    Fase2_3.DataGridView4.RowCount = 1

    For i = 0 To Fase2_1.DataGridView2.ColumnCount - 1

        Fase2_3.DataGridView4(i, 0).Value = Fase2_1.DataGridView2(i, 0).Value

    Next

    Fase2_3.DataGridView5.ColumnCount = 1
    Fase2_3.DataGridView5.RowCount = 1

    'Hallando el tiempo total de la ruta
    For j = 0 To Fase2_3.DataGridView4.ColumnCount - 2

        Fase2_3.DataGridView5(0, 0).Value = Fase2_3.DataGridView5(0, 0).Value +
        MTiempo(Fase2_3.DataGridView4(j, 0).Value, Fase2_3.DataGridView4(j + 1, 0).Value)

    Next
'************ Creando matriz de permutaciones   ***************************

DataGridView9.ColumnCount = Val(Fase2.TextBox1.Text) + 1
DataGridView9.RowCount = 0

DataGridView10.ColumnCount = 1
DataGridView10.RowCount = 0

'********************** Creando matriz de iteraciones *****************

Fase2_3.DataGridView1.ColumnCount = DataGridView9.ColumnCount
Fase2_3.DataGridView1.RowCount = 0
Fase2_3.DataGridView2.ColumnCount = DataGridView10.ColumnCount
Fase2_3.DataGridView2.RowCount = 0
Fase2_3.DataGridView3.ColumnCount = 1
Fase2_3.DataGridView3.RowCount = 0

'*****************************************************************************
Dim a, b As Double

'Hallando el tiempo total de la ruta
For j = 0 To DataGridView1.ColumnCount - 2

    a = DataGridView1(j, 0).Value
    b = DataGridView1(j + 1, 0).Value
    DataGridView2(0, 0).Value = DataGridView2(0, 0).Value + MTiempo(a, b)

Next
```

Parte del pseudocódigo del algoritmo Búsqueda Tabu

```
'Identificar los tipos de permutaciones ejemplo: 2 en 2 , 3 en 3 , 4 en 4 , etc.
Dim tip_permu As Integer = Val(Fase2.TextBox1.Text)
Dim x As Integer = 2 ' Siempre el tipo de permutacion comienza de 2 en 2

While x < tip_permu
    ' mandarle en que fila se va a permutar
    Dim Num_ciudades As Integer
    Num_ciudades = Val(Fase2.TextBox1.Text)
    Dim Nfilas As Integer

    For i = 1 To Num_ciudades - x
        Nfilas = CreandoFilaPermutacion()
        'Mandarle el indice (i) y el tipo de permutacion (x) a una funcion
        ' Declarando un array con 7 elements.
        'Dim students(6) As Integer
        '*****************************************************************************************************************
        'Creando un vector donde se juntan las ciudades a permutar ----> la dimension debe de ser segun el tipo de permutacion (x)
        Dim vector_permutacion(x - 1) As Integer
        For j = i To i + x - 1
            vector_permutacion(j - i) = DataGridView9(j, Nfilas).Value
        Next
        'Hasta aqui en un vector esta almacenado las ciudades a permutar
        '*****************************************************************************************************************
        'Invertir los valores de ese vector
        Dim vector_permutacion_invertido(x - 1) As Integer
        For p = 0 To x - 1
            vector_permutacion_invertido(p) = vector_permutacion(x - 1 - p)
        Next
            'Colocar ese vector invertido en la ruta
            For j = i To i + x - 1

                DataGridView9(j, Nfilas).Value = vector_permutacion_invertido(j - i)
            Next

            Dim a1, b1 As Integer
            For j = 0 To DataGridView9.ColumnCount - 2

                a1 = DataGridView9(j, Nfilas).Value
                b1 = DataGridView9(j + 1, Nfilas).Value
                DataGridView10(0, Nfilas).Value = DataGridView10(0, Nfilas).Value + MTiempo(a1, b1)
            Next
        Next

        x = x + 1

    End While
' De los resultados buscar la ruta que es mejor que la ruta inicial

Dim x0 As Double = DataGridView2(0, 0).Value ' Tiempo de la ruta inicial

'Buscando el menor de todas las soluciones
Dim r As Double = DataGridView10(0, 0).Value
Dim ind As Integer = 0

For i = 0 To DataGridView10.RowCount - 2 ' descartar la ultima fila porque ahi se encuentra el viaje inverso de la ruta actual

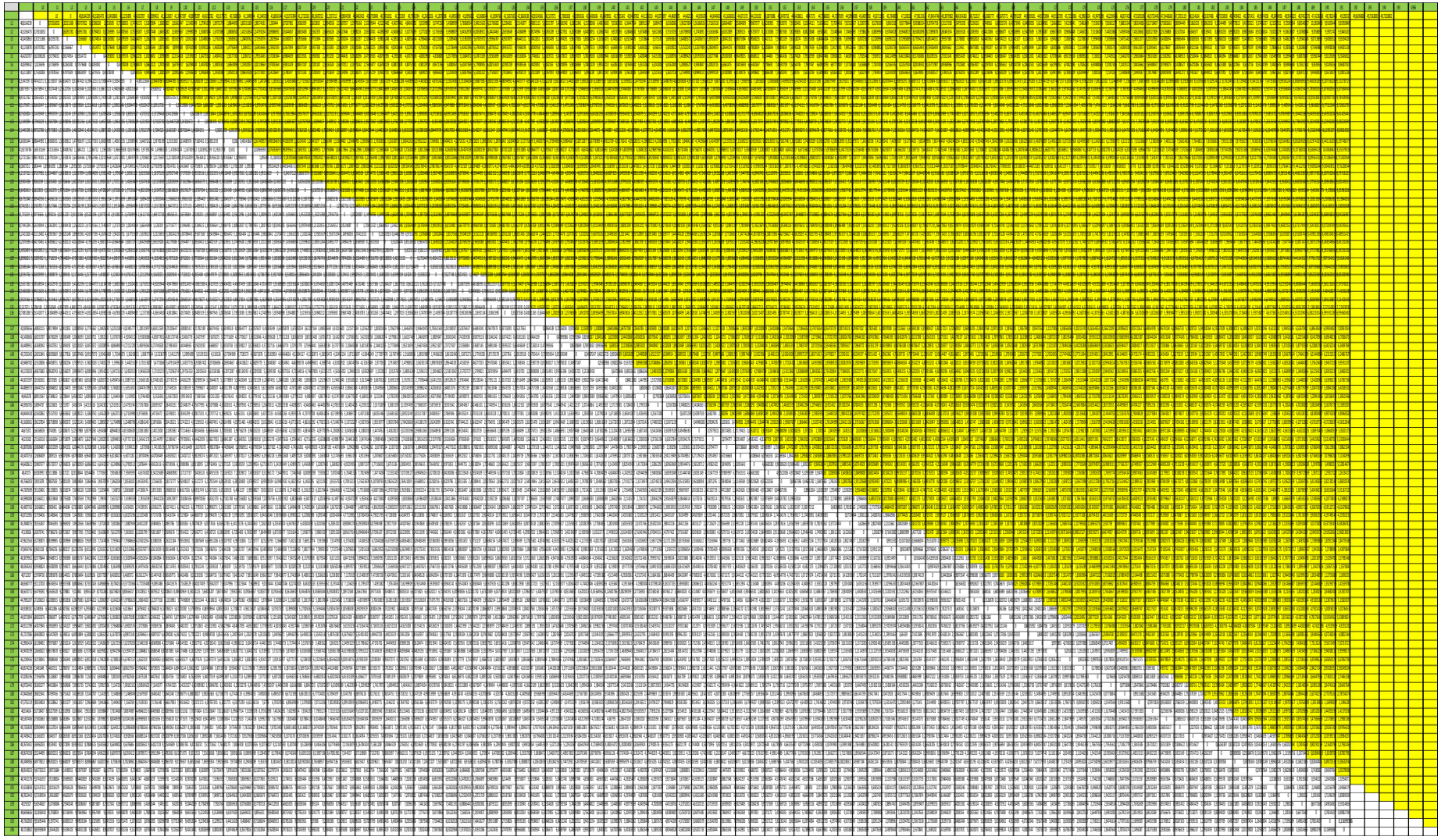
    If r > DataGridView10(0, i).Value Then
        r = DataGridView10(0, i).Value
        ind = i
    End If
Next

Dim indice As Integer = ind
Dim min_tiempo As Double = DataGridView10(0, indice).Value

'Ver si el valor minimo es menor a la solucion inicial
'Seleccionar la ruta
DataGridView6(0, 0).Value = min_tiempo
For p = 0 To DataGridView5.ColumnCount - 1
    DataGridView5(p, 0).Value = DataGridView9(p, ind).Value
Next
```

Parte del pseudocódigo del algoritmo de Búsqueda Tabu

Anexo 5: Matriz de Distancias Euclidianas



Anexo 6: Matriz de Tiempo de Recorrido

