UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TESIS

OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS RECOLECTORAS DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE CHICLAYO, PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SERVICIO DE LIMPIEZA. CHICLAYO-2017

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL

Autor(es):

Bach. Carrasco Peña Elías
Bach. Díaz toro Gleddy Yuleisy Mariberth

Asesor:
Mg. Arrascue Becerra, Manuel Alberto

Línea de Investigación
Gestión Empresarial

Pimentel – Perú
2017

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE

INGENIERÍA INDUSTRIAL

TESIS

OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS RECOLECTORAS DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE CHICLAYO, PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SERVICIO DE LIMPIEZA. CHICLAYO-2017

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL

Autores:

Bach. Carrasco Peña, Elías

Bach. Díaz Toro, Gleddy Yuleisy Mariberth

Pimentel – Diciembre

2017

Optimización de las rutas recolectoras de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo, para mejorar la eficiencia del servicio de limpieza. Chiclayo-2017

Carrasco Peña, Elías
Autor

Díaz Toro, Gleddy Yuleisy Mariberth
Autor

Presentando a la escuela académico profesional de ingeniería industrial de la Universidad Señor de Sipan – Chiclayo para optar el grado académico de:

Ingeniero industrial

APROBADO POR:

Mg. Vargas Sagástegui, Joel David
Presidente del jurado

Dr. Vásquez Coronado, Manuel Humberto
Secretario de Jurado

Mg. Arrascue Becerra, Manuel Alberto
Vocal de Jurado

DEDICATORIA

A Dios, por darnos la vida y la fortaleza para poder concluir este proyecto de investigación y poder obtener nuestro grado en Ingeniería industrial.

A nuestras madres Griselda Catalina Peña Huamán y Maribel Toro Herrera que por ser el pilar de nuestra formación que con cariño, amor y sacrifico han hecho posible este logro tan importante en nuestras vida.

A nuestros padres Tito Carrasco Cruz, Herberth Díaz Guevara y José Cubas Pérez, por los consejos y lucha inalcanzable de ayudarnos a seguir adelante, por el tiempo que nunca podremos devolverles pero si agradecerles.

A nuestros asesores el ing. Paul Linares Ortega, Ing. Lourdes Esquivel Paredes, Mg. Vásquez Coronado Manuel, Mg. Arrascue Becerra Manuel e Mg. Vargas Sagástegui Joel David por guiarnos y apoyarnos para que este proyecto de investigación sea éxito.

A mi caru, nuestros abuelos, familiares y amigos por su apoyo incondicional, leal y sincero.

AGRADECIMIENTO.

Agradezco a Dios ser maravilloso que nos dio la fuerza y confianza para creer lo que parecía nunca acabar.

Un agradecimiento especial a la Municipalidad Provincial de Chiclayo quien es representada por el alcalde e ingeniero David Cornejo Chinguel, quién desde un inicio nos brindó su confianza y apoyo para lograr realizar este proyecto de investigación.

Agradecemos también al Gerente de Desarrollo Ambiental Ing. Luis Calle Sampén, al Sub Gerente de Residuos Sólidos Carlos Bernuy, al administrados y supervisor de las compactadoras Jimmy Uceda, a la institución de Chiclayo Limpio; quienes muy gratamente nos brindaron la información necesaria e incluso formaron parte de nuestras pruebas pilotos que demostrarían la mejora en el servicio de limpieza de recojo de residuos sólidos.

ÍNDICE

ABSTRACT xiii

INTRODUCCIÓN xiv

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 1

1.1. Situación Problemática. CD OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS RECOLECTORAS DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE CHICLAYO, PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SERVICIO DE LIMPIEZA. CHICLAYO-2017 2

1.2. Formulación del Problema 5

1.3. Delimitación de la Investigación 5

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación 6

1.5. Objetivos de la Investigación 8

1.5.1. Objetivo general 8

1.5.2. Objetivos específicos 8

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 9

2.1. Antecedentes de Estudios: 10

2.2. Estado del arte 19

2.2.1. La investigación operativa como herramienta de toma de decisiones en el sector de la salud: un estado de la técnica 19

2.3. Base teórica científicas 26

2.3.1. Investigación de Operaciones 26

2.3.2. Panorama del enfoque de modelado en investigación de Operaciones. 35

2.3.3. Modelo de transporte y sus variantes en la investigación de operaciones 39

2.3.4. Modelo de Programación Lineal 41

2.3.5. Modelo de Optimización de redes 54

2.3.6. Problema del agente viajero 60

2.4. Definición de la terminología 71

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO 74

3.1. Tipo y Diseño de Investigación 75

3.1.1. Tipo de investigación 75

3.1.2. Diseño de la investigación 75

3.2. Población y Muestra 75
3.2.1. Población 75
3.2.2. Muestra 76
3.3. Hipótesis 76
3.4. Variables 76
3.5. Operacionalización:..... 77
3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos 78
3.6.1. Métodos de investigación 78
3.6.2. Técnicas de recolección de datos 79
3.6.3. Instrumentos de recolección de datos en la tabla de Operacionalización 80
3.7. Procedimiento para la recolección de datos 81
3.8. Análisis Estadístico e Interpretación de los datos 82
3.9. Principios éticos 82
3.10. Criterios de rigor científico 83
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS 85
4.1. Resultados en tablas y gráficos. 86
4.1.1. Sectorización de las Zonas. 89
4.1.2. Distribución de Compactadoras por zona 92
4.1.3. Diseño de Rutas Recolectoras de Residuos Sólidos..... 95
4.2. Discusión de resultados. 95
4.2.1. Sectorización de zonas. 99
4.2.2. Distribución de Compactadoras por zona 100
CAPÍTULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN 102
5.1. Aplicación del Método matemático de la ruta más corta..... 103
5.2. Aplicación del modelo matemático Agente Viajero (TSP) 103
5.2.1. Estudio de ruta Optima Zona 32 104
5.2.1.1. Ruta más corta de Planta hacia la Zona N° 32 104
5.2.1.2. Ruta más corta Zona N° 32 Botadero Reque..... 112
5.2.1.3. Modelo matemático para zona 32..... 119
5.2.1.4. Aplicación del Agente Viajero con WINQSBen la Zona 32. 126

5.2.2. Estudio de ruta Optima Zona 17 140

5.2.2.1. Ruta más corta de Planta hacia la Zona 17..... 140

5.2.2.2. Ruta más corta Zona 17 a botadero de Reque. 144

5.2.2.3. Aplicación del Agente Viajero en la Zona 17 148

5.3. Aplicación del Método matemático para la distribución de compactadoras por Zona..... 159

5.4. Resultados de la mejora en las Zonas 17 y 32 168

5.5. Análisis del costo benéfico de la investigación en las 32 Zonas actual y propuesto. 185

CAPÍTULO VI: CONCLUSIO-NES Y RECOMENDACIONES..... 186

6.1. Conclusiones..... 187

6.2. Recomendaciones..... 189

ANEXOS 190

Figura 1. Local de mantenimiento de compactadoras 195

Figura 2. Almacén de maquinaria obsoleta. 195

Figura 3. Control de asistencia..... 196

Figura 4. Compactadora brindando servicio de limpieza 196

Tabla 1.
Población estimada y cantidad de R.S domiciliarios a recolectar por día 197

Figura 5. Esquema de del servicio de limpieza 198

BIBLIOGRAFÍA..... 199

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Componentes de redes Representativas..... 56

Tabla 2.2 *Aplicación de algoritmo ruta más corta de Seervada Park.* 58

Tabla 3.1. Definición operacional de las variables 77

Tabla 4.1. Indicadores actuales zona 17 86

Tabla 4.2. Indicadores actuales zona 32. 87

Tabla 4.3. Reporte promedio de basura diaria por zona turno noche.... 90

Tabla 4.4. Lista y estado de maquinaria..... 92

Tabla 4.5. Asignación actual de compactadoras por zonas 93

Tabla 4.6. Demanda de basura año 2014..... 100

Tabla 5.1. Nodos antecesores de origen Planta a zona 32 108

Tabla 5.2. Resumen del resultado del nodo más cercano de planta a zona 32. 109

Tabla 5.3. Nodos antecesores de origen zona 32 a Reque 115

Tabla 5.4. Ruta más Corta de zona 32 a Reque. 115

Tabla 5.5. Beneficio por día en zona 32..... 139

Tabla 5.6. Beneficio por día en zona 17..... 159

Tabla 5.7. Costo y capacidad de zona por compactador..... 161

Tabla 5.8. Equidad de costo y capacidad de zona por compactador..... 162

Tabla 5.9. Resumen de solución de distribución de transporte..... 163

Tabla 5.10. Detalle del estudio en la zona 17 actual y propuesto..... 168

Tabla 5.11. Detalle del estudio en la zona 32 actual y propuesto..... 169

Tabla 5.12. Eficiencia km Zona/Día 170

Tabla 5.13. Eficiencia Km Zona/Mes 171

Tabla 5.14. Eficiencia Km Zona/Año 172

Tabla 5.15. Eficiencia Km Zona/10 Años..... 172

Tabla 5.16 Eficiencia de tiempo empleado en una Zona/Día 173

Tabla 5.17. Eficiencia de tiempo empleado en una Zona/Mes..... 174

Tabla 5.18. Eficiencia de tiempo empleado en una Zona/Anual 175

Tabla 5.19. Eficiencia de tiempo empleado en una Zona/10 Años 175

Tabla 5.20. Eficiencia de costo para brindar el servicio de recolección Zona/Día 177

Tabla 5.21. Eficiencia de costo para brindar el servicio de recolección Zona/Mes 178

Tabla 5.22. Eficiencia de costo para brindar el servicio de recolección Zona/Año 179

Tabla 5.23. Eficiencia de costo para brindar el servicio de recolección Zona/10 Años 179

Tabla 5.24. Ahorro en las 32 Zonas del distrito de Chiclayo en 1 año ... 180

Tabla 5.25. Ahorro en las 32 Zonas del distrito de Chiclayo en 10 Años181

Tabla 5.26. Eficiencia de producción Zona / Día 181

Tabla 5.27. Eficiencia de producción Tuno / Mes..... 182

Tabla 5.28. Eficiencia de producción Tuno / Año..... 183

Tabla 5.29. Eficiencia de producción Tuno / 10 Años 184

Tabla 5.30 Análisis costo beneficio 185

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Métodos de trabajo actual 4

Figura 1.2. Abastecimiento de combustible 5

Figura 2.1. Producción científica relacionada con la Investigación operativa en atención medica..... 22

Figura 2.2. Enfoque de método cuantitativo 36

Figura 2.3. Modelo de transporte con nodos y arcos..... 40

Figura 2.4. Representación gráfica que cumple con todas las restricciones y condiciones de no negatividad..... 44

Figura 2.5. Gráfica de cualquier punto situado en la región factible. 45

Figura 2.6. Recta o intercepción con los ejes coordenado..... 45

Figura 2.7. Gráfica de una solución básica región factible..... 45

Figura 2.8. Formato de tabla simplex 50

Figura 2.9. Tabla inicial simplex proceso 1..... 52

Figura 2.10. Tabla 2 simplex no cumple repite proceso 2 52

Figura 2.11. Tabla 3 simplex no cumple repite proceso 3 53

Figura 2.12. Resultado final de función Objetivo 53

Figura 2.13. Representación del modelo de transporte 55

Figura 2.14. Representación de árbol y árbol de expansión 55

Figura 2.15. Problema de ruta más corta de Seervada Park..... 58

Figura 2.16. Ubicación de los clientes, sin y con diseño de ruta. 62

Figura 2.17. Distancia y ubicación de clientes a visitar 63

Figura 2.18. Ubicación y distancia de clientes a visitar 65

Figura 2.19. Ejemplo de problema de agente viajero 66

Figura 2.20. Puntos que indican la ubicación de los clientes 67

Figura 2.21. Solución de método heurística, vecino más cercano..... 67

Figura 2.22. Solución heurística de vecino más cercano 68

Figura 2.23. Solución ajustada con el método heurística 2 optima. 69

Figura 2.24. Solución para VRP depósito de 4 rutas. 70

Figura N° 4.1. Mapa General de sectorización de Zonas en el distrito de Chiclayo para el servicio de limpieza..... 91

Figura 4.2. Distribución actual de compactadoras por zona en el Distrito de Chiclayo 94

Figura 5.1. Construcción de la red según geográfico para definir a ruta más corta de planta a zona 32. 107

Figura 5.2. Nodos y distancias ingresados en software WinQSB de planta hasta la zona 32 según red. 110

Figura 5.3. Secuencia de nodos que nos indica la ruta corta de planta hasta la zona 32. 111

Figura 5.4. Solución gráfica ruta corta de planta a zona 32..... 112

Figura 5.5. Red según mapa geográfico para definir la ruta más corta de zona 32 a Reque..... 114

Figura 5.6. Nodos y distancias ingresados en Software WinQSB, de zona 32 a Reque 117

Figura 5.7. Ruta más corta de planta a zona 32 a Reque 118

Figura 5.8. Solución gráfica ruta más corta de zona 32 a Reque. 119

Figura 5.9. Distancias de Zona 32..... 120

Figura 5.10. Ruta actual en AutoCAD zona 32. 128

Figura 5.11. Base de datos parte 1 en WinQSB zona 32. 130

Figura 5.12. Base de datos parte 2 en WinQSB dezona 32. 131

Figura 5.13. Solución modelo matemático agente viajero zona 32. 133

Figura 5.14. Solución grafica de nodos de ruta optima zona 32. 134

Figura 5.15. Ruta optima con Modelo matemático en AutoCAD de zona 32. 135

Figura 5.16. Costo y eficiencia de zona 32..... 137

Figura 5.17. Eficiencia en zona 32. 139

Figura 5.18. Red según mapa geográfico para definir la ruta más corta de planta a zona 17 141

Figura 5.19. Nodos y distancia software WinQSB de planta a zona 17 según red. 142

Figura 5.20. Ruta más corta de planta a zona 17. 143

Figura 5.21. Solución objetivo de ruta más corta de planta a zona 17. 144

Figura 5.22. Red según mapa geográfico para definir la ruta más corta de zona 17 a Reque..... 145

Figura 5.23. Nodos y distancia software WinQSB de zona 15 a Reque según red. 146

Figura 5.24. Secuencia de nodos de ruta más corta de zona 17 a Reque 147

Figura 5.25. Solución grafica de zona 17 a Reque 148

Figura 5.26. Ruta actual en Auto CAD Zona 17..... 151

Figura 5.27 Base de datos en WinQSB de distancias de los nodos de la zona 17 152

Figura 5.28 Solución en software WinQSB zona 17 parte 1..... 153

Figura 5.29.Solución en software WinQSB zona 17 parte 2..... 154

Figura 5.30. Nodos y distancia software WinQSB de planta a zona 17 según red. 155

Figura 5.31. Ruta optima con Modelo matemático en AutoCAD zona 17. 156

Figura 5.32. Costo y eficiencia zona 17..... 157

Figura 5.33. Eficiencia zona 17. 158

Figura 5.34. Base de datos de costo, oferta y demanda por zona. 164

Figura 5.35. Solución de la distribución de compactadoras. 166

Figura 5.36. Distribución de compactadoras según su capacidad y demanda..... 167

RESUMEN

La propuesta de este proyecto de investigación establece un modelo matemático que permita realizar una optimización de las rutas recolectoras de residuos sólidos para que el servicio de limpieza en el distrito de Chiclayo sea más eficiente, aportando a la comunidad un factor importante que ayudará mejorar su calidad de vida de los habitantes.

Para obtener una información confiable y verídica, se realizaron estudios en base a teorías, antecedentes y de campo; dicha combinación se analizó, cuantificó y controló gracias a las técnicas y herramientas flexibles que se mencionan en el capítulo IV de análisis e interpretación de los resultados, tales como la entrevista personalizada, las guías de observación, los planos del distrito y una aplicación android My Tracks que nos permitió registrar tiempo y distancias del recorrido de las rutas.

Finalmente se logró adecuar toda la información necesaria en los modelos de optimización, dando como resultado la optimización de la distribución de compactadoras según su capacidad, la optimización de la ruta más corta de planta hacia la zona y de la zona hacia Reque y la optimización del recorrido de la ruta empleada para cada zona. Basándose en la propuesta presentada por la institución de Chiclayo Limpio y a las áreas de desarrollo ambiental como residuos sólidos, se realizó el estudio en campo a dos Zonas de las 16 zonas del Distrito de Chiclayo; obteniendo como resultado la reducción más del 10% del recorrido empleado según su método de trabajo anterior.

Palabras clave: Optimización, eficiencia, servicio de limpieza, flexibilidad, calidad de vida

ABSTRACT

The proposal of this research project establishes a mathematical model that allows an optimization of solid waste collection routes so that the cleaning service in the Chiclayo sea district is more efficient, contributing to the community an important factor that helps to improve its quality of life of the inhabitants

To obtain reliable and truthful information, studies were made based on theories, background and field; Combined keywords, quantified and controlled thanks to the flexible techniques and tools mentioned in chapter IV of analysis and interpretation of results, stories such as personalized interview, observation guides, Tracks that allowed us to record time and distances of the route of the routes.

Finally, to adapt all the necessary information in the optimization models, resulting in the optimization of the distribution of the compaction according to its capacity, optimization of the shortest path from the plant to the area and the area towards Reque and the optimization of the route The route used for each zone. Based on the proposal presented by the institution of Chiclayo Limpio and the areas of environmental development such as solid, the study was carried out in the field to the Zones of the 16 zones of the District of Chiclayo; As a result, the reduction of more than 10% of the route used according to its previous method of work.

Keywords: Optimization, efficiency, cleaning service, flexibility, quality of life

INTRODUCCIÓN

El presente estudio de investigación denominada “Optimización de las rutas recolectoras de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo, para mejorar la eficiencia del servicio de limpieza”, es una propuesta que pretende mejorar el servicio en el distrito y los costos operativos implicados en el mismo.

Por tal motivo la estructuración de la tesis cuenta con seis capítulos:

El capítulo I: Problema de Investigación; evidencia realidades que demuestra que no somos los únicos ante esta problemática, puesto que Norteamérica produce 260 millones de TN de basura (residuos residenciales) cada año y en el Perú alrededor de 10 millones de toneladas; países extranjeros y algunas ciudades de la nación evidenciarían la importancia que empieza a generar tener un control del recorrido de las rutas.

Estos antecedentes fueron la clave para tomar por objetivo general diseñar un modelo de optimización de las rutas recolectoras que nos permita mejorar la eficiencia del servicio de limpieza de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo; para lograr este objetivo hemos trazado diversos objetivos específicos que implica conocer el actual sistema de recojo de basura que realizan por turnos o zonas, controlando tiempos, kilometraje y costos de combustible, para luego plantear una reconstrucción en el diseño de rutas.

En el capítulo II: Marco Teórico; muestra la investigación resumida del estudio de la ciudad de Buenos aires (Argentina) y la ciudad de Lima (Perú); que están utilizando modelos matemáticos que garanticen la optimización del recorrido del recojo, además evidenciamos la fuerza

que comienza a tener la investigación de operaciones como nueva tendencia para la toma de decisiones organizacionales.

En el capítulo III: Marco Metodológico; delimitamos la investigación de la población y muestra generando una serie de hipótesis y variables que nos permitieron analizar la información obtenida por las técnicas e instrumentos de recolección de datos; guías de observación directa, fotografías, análisis documentarios y entrevista realizada al gerente de desarrollo ambiental el ing. José Calle Sampén, pudimos evidenciar que actualmente brindan un servicio a la comunidad que carece de un estudio o análisis previo en el campo de acción generando costos innecesarios y mucha insatisfacción de la comunidad por la carencia del servicio en sus calles.

En el capítulo IV: Análisis e interpretación de los resultados; evidenciamos, analizamos, interpretamos y discutimos los resultados y limitaciones obtenidas en el levantamiento de información. La primera limitación fue el tiempo de urgencia que requirió este proyecto para la municipalidad de Chiclayo, la segunda limitación fue que solo nos permitieron acceder a un turno; sin embargo, la información obtenida fue suficiente para interpretar que carecían de una organización metodológica el cual implicara reducir tiempo, costos y por ende la insatisfacción de la comunidad.

En el Capítulo V: Propuesta de investigación; Obtenida y filtrada toda la información necesaria procedimos a adaptar la metodología de la investigación de operaciones; utilizando en primera instancia el modelo matemático de distribución el cual nos permitió asignar a cada zona un compactador adecuado según su capacidad, lo cual nos redujo el trabajo doble que venían ejerciendo como, por ejemplo llegaban a la zona final del botadero compactadoras repletas que no se abastecían en recoger toda la basura de la zona asignada, como también llegan compactadoras

semi repletas; en segunda instancia nos propusimos aplicar el modelo matemático de redes o también conocida como la ruta más corta, modelo que nos permitirá conocer la ruta con menor kilometraje desde el punto de partida que es la planta de la sub gerencia de residuos sólidos hasta la zona asignada y de la zona asignada hasta el botadero de Reque; en tercera instancia nos proponemos aplicar el modelo matemático del agente viajero su objetivo es buscar una diferentes soluciones es decir un conjunto de rutas que conecten todos los puntos (Nodos), para hallar una ruta que genere menor costo cumpliendo con la condición de recorrer todos los puntos o nodos asignados a cada cuadra de las zonas.

En el capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones; se especifica una serie de respuestas y recomendaciones obtenidas a lo largo de la investigación para cumplir cada uno de nuestros objetivos, finalmente lograr diseñar un modelo de optimización de las rutas recolectoras para mejorar la eficiencia del servicio de limpieza de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo.

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Situación Problemática.

En Norteamérica se genera 260 millones de TN de basura (residuos residenciales) cada año. Esto indica que cada persona acumula un promedio de 2 kg de basura por Día. Además las actividades diarias y el giro de negocio producen una serie variedad de residuos sólidos, en las calles de la ciudad al finalizar el día encontramos todo tipo de desechos y desperdicios botados en las veredas y calles de la ciudad; en el caso de los residuos domiciliarios y residenciales su basura comprende entre material Desechado, residuos orgánicos de alimentos envases o embalajes y. Uson (2014)

A nivel nacional en el Perú ha incrementado abruptamente la producción de residuos sólidos que asciende a 22 475 .79 TN/día, El crecimiento de residuos ha sido acelerado por tanto en el año 2000 se crea una ley específicamente para controlar los residuos sólidos, ley N° 27314 Ley General de Residuos Sólidos donde establece los derechos, atribuciones, obligaciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto. Esta ley se enfoca a gestionar y manejar los residuos sólidos de forma integral embarcando un mejor manejo además de residuos sanitarios y ambientales, con el propósito de prevenir y controlar los riesgos ambientales y generar un mejor bienestar para la salud de la población. MINSA (2011).

Por ello en el año 2012 se realizó un control del Registro Nacional de Municipalidades respecto a la cantidad recogida de residuos sólidos, realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, los resultados que el 95% (1739) de Municipalidades

de los distritos del Perú cumplen con la recolección de residuos, por tanto el 5% (99) no realizan dicha acción. MINSA (2011).

Esta realidad como bien lo reporta el estudio involucra a la Región Lambayeque, situándonos en la jurisdicción de Chiclayo, los trabajadores de limpieza de la Municipalidad Provincial recogen un promedio diario de 350 toneladas de basura domiciliaria, habiendo limpiado al 90%, el centro de la ciudad y en un 65% los alrededores; no logrando el recojo al 100%. Además el área de desarrollo ambiental, ha distribuido proporcionalmente el distrito en 32 zonas, atendidas por 8 compactadoras en dos turnos. Depaz (2014).

Sin embargo, actualmente no cuentan con una ruta que justifique operativamente el recojo de basura y que asegure el uso eficiente de sus recursos, cómo el combustible.

Agregando además que dicho recurso es una de las carencias principales de la actual gestión municipal, lo cual impide que el recojo de basura se realice al 100 %, según indico Roger Custodio Cachay, gerente de Ambiente y Desarrollo Económico. Depaz (2014).

Además con el actual alcalde David Cornejo Chinguel, la limpieza pública en Chiclayo sigue siendo una de sus más agudas y visibles deficiencias. Según la Gerencia de Residuos Sólidos a diario se dejan de recoger hasta 100 toneladas de basura en las calles, principalmente en las zonas periféricas de la ciudad, lo que originan una serie de problemas en el ornato y la salud de los vecinos, desnudando a la vez la precariedad del equipamiento

municipal para cumplir con la prestación de este servicio. Sampén (2015)

A continuación se muestra unas fotografías, para evidenciar la realidad que viene afrontando y generando la ineficiencia en el recojo de basura de todo el distrito de Chiclayo, en la figura 1, de los anexos de Figuras podremos visualizar un local donde se le da mantenimiento a las compactadoras, en la figura 2 de anexos, evidenciaremos el número de vehículos obsoletos por distintas fallas técnicas, siendo uno de los factores por el cual consideran no poder realizar un servicio completo de limpieza en las zonas de los alrededores, en la figura 3. Observaremos una caseta donde los trabajadores registran su asistencia y llevan el control de sus horas laborales; además en cuestión de campo observaremos en la figura 4, un vehículo brindando el servicio en la zona 17, según la respectiva sectorización del distrito.

Mientras en la figura N° 1.1 vemos la distribución de compactadoras del método actual para brindar el servicio de recolección de residuos sólidos.

Ficha de trabajo y asignación de compactador por Zona

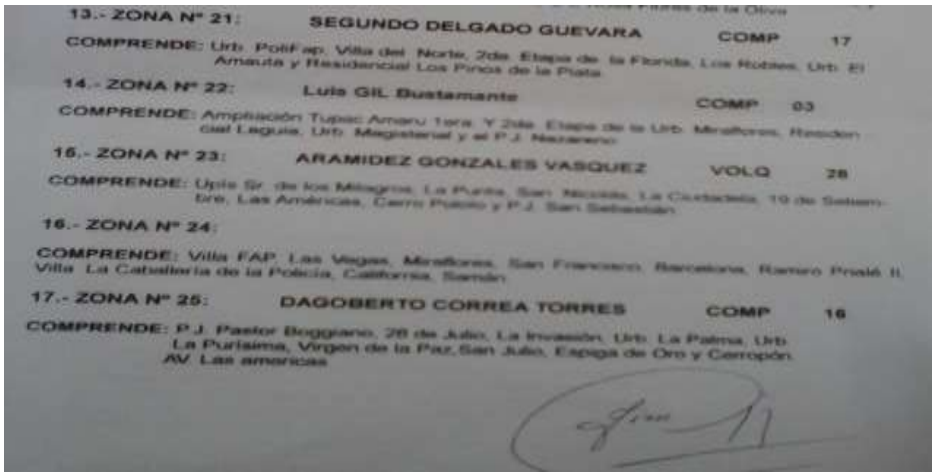

13.- ZONA N° 21: SEGUNDO DELGADO GUEVARA COMP 17
COMPRENDE: Urb. PoliFap, Villa del Norte, 2da. Etapa de la Florida, Los Robles, Urb. El Amauta y Residencial Los Pinos de la Plata
14.- ZONA N° 22: Luis GIL Bustamante COMP 03
COMPRENDE: Ampliación Tupac Amaru 1era. Y 2da. Etapa de la Urb. Miraflores, Residencial Laguna, Urb. Magisterial y el P.J. Nazareno
15.- ZONA N° 23: ARAMIDEZ GONZALES VASQUEZ VOLQ 28
COMPRENDE: Upis Sr. de los Milagros, La Punta, San Nicolás, La Ciudadela, 10 de Setiembre, Las Américas, Cerro Pulido y P.J. San Sebastián
16.- ZONA N° 24:
COMPRENDE: Villa FAP, Las Vegas, Miraflores, San Francisco, Barcelona, Ramiro Priale II, Villa La Caballería de la Policía, California, Sarmán
17.- ZONA N° 25: DAGOBERTO CORREA TORRES COMP 16
COMPRENDE: P.J. Pastor Boggiano, 28 de Julio, La Invasión, Urb. La Palma, Urb. La Purísima, Virgen de la Paz, San Julio, Espiga de Oro y Cerropón. AV. Las americas

Figura 1.1. Métodos de trabajo actual
Fuente: Autores

En la figura N°1.2 vemos el grifo de la municipalidad, centro abastecimiento de combustibles a las unidades “Compactadoras, Caminos, entre otras unidades que alquilan para realizar el servicio.

Grifo de planta para realizar el abastecimiento de petróleo

Figura 1.2. Abastecimiento de combustible
Fuente: Autores

1.2. Formulación del Problema

¿La optimización de las rutas recolectoras de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo, mejorará la eficiencia del servicio de limpieza?

1.3. Delimitación de la Investigación

El presente estudio de investigación de la optimización de las rutas recolectoras de residuos sólidos del distrito de Chiclayo, se llevó a cabo en el Área de Desarrollo Ambiental, juntamente con el Área de Residuos Sólidos y la institución de Chiclayo Limpio

dedicada a realizar un proyecto pre experimental, que se orienta a manejar los residuos sólidos de forma integral en el distrito de Chiclayo juntamente financiada por Corporación Suiza, la misma es la contraparte de la Municipalidad Provincial de Chiclayo que cuenta con el apoyo del Ministerio del Ambiente.

Además se ha considerado las siguientes delimitaciones:

a) El estudio de optimización de rutas sólo se realizó para las compactadoras.

b) La propuesta de optimización de ruta para la recolección de residuos sólidos se diseñó para un turno, el cual consta de 16 zonas.

c) La aplicación de la propuesta tomó como referencia a 2 zonas de las 16 seleccionadas para la prueba piloto; estas zonas representará una zona céntrica y otra de alrededores.

d) La investigación fue autorizada para realizarse durante un periodo de 7 meses, que tuvo como inicio el mes de marzo 2015.

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación

El presente estudio permitirá tomar acciones encaminadas a la búsqueda del máximo aprovechamiento de los recursos disponibles para el recojo de los residuos sólidos domiciliarios del Distrito de Chiclayo. Ante el hecho que cada año la basura ha incrementado abruptamente y el servicio de recojo es cada vez más ineficiente, a ello se suma que en los últimos 5 años la

población del distrito de Chiclayo ha incrementado en 0.8%. (INEI, 2014)

Además el total de residuos sólidos por habitante es de 0.45 Kg que se encuentra definida en la Tabla 4.3 (Samame, Gacia, Guimoye & Petroni, 2014)

Sin embargo sólo el 40 % de los residuos sólidos domiciliarios es reciclable y en muchas ocasiones el porcentaje es menor, debido que se pierde material en el botadero de Reque en donde es arrojado junto con material orgánico que lo contamina. Cabrejo (2011)

Por ello, buscamos dar una solución a la problemática existente, ya que actualmente no cuentan con una ruta que justifique operativamente el recojo de basura y que asegure un buen servicio de limpieza. Solucionando la proliferación de insectos asi mismo evitaremos la contaminación del medio ambiente y por ende enfermedades como erupciones en la piel, infecciones respiratorias, enfermedades gastrointestinales, como bien lo detalla en uno de sus temas la revista Eco Portal. Además, gracias a la optimización de la ruta de los recolectores, podremos maximizar el uso eficiente de los recursos para el recojo de residuos sólidos domiciliarios del distrito de Chiclayo, como el combustible.

1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1. Objetivo general

Diseñar un modelo de optimización de las rutas recolectoras para mejorar la eficiencia del servicio de limpieza de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo.

1.5.2. Objetivos específicos

a) Recopilar información para conocer el sistema de recojo de basura así como las zonas, turnos y puntos críticos en el recojo de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo.

b) Elaborar un modelo de optimización para maximizar el uso eficiente de los recursos en el recojo de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo.

c) Cuantificar costos y consumo de combustible empleado para el servicio de limpieza por zona.

d) Adecuar la información adquirida a modelos matemáticos de investigación de operaciones que nos permita generar la optimización de las rutas.

e) Analizar el costo beneficio de la Propuesta de la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios:

En el proceso de investigación del material bibliográfico para el presente estudio, se consultaron diversas fuentes profesionales relacionadas a modelos matemáticos de optimización de optimización de rutas. A continuación se detallan los siguientes antecedentes:

Según Valdivia & Taquía (2013) Su método para el análisis fue la optimización de rutas mediante teoremas matemáticos, y estudios prácticos, señalando teorías de algoritmos y restricciones apropiados para realizar el presente estudio. En su estudio desarrollado con la optimización de rutas propone dos soluciones: que comprende en la Sectorización de rutas y la optimización del modelo matemático. En la sectorización se estudia la zona dentro de la zona se determina el número de rutas que necesita a zona, además se determina los recursos necesarios para ponerlas en acción con la maximización de la capacidad de flota disponible.

Mientras que con el modelo matemático de optimización, busca una solución óptima de todas las rutas estudiadas en la primera solución y a la vez pidiéndolo en ejecución que vienen hacer aplicaciones matemáticas prácticas, con ello se logra optimizar en viajes hasta 20%.

En su estudio realizaron una estimación económica de todos los ingresos y todos los egresos del proyecto, realizando una proyección a 10 años para ver su margen de utilidad, Obteniendo un valor actual neto (VAN) de S/. 2 millones, así mismo obtuvieron

una tasa interna de rentabilidad (TIR) de 75.1 %. Por otro lado de evaluaron los flujos de caja con un análisis de sensibilidad para tomar decisiones sobre las mejoras o falencias de nuestro estudio, con este estudio una de nuestras falencias que nos arrojo es el riesgo de penalización de una utilidad atractiva. A pesar de riesgo que nos sometimos, el Estudio en beneficioso en diferentes aspectos. Es decir cundo el proyecto esté en un estado económico de reducción se siga moviendo y generando ganancias con una línea de tendencia positiva en la determinada proyección que se estimó en 10 años. Y la recuperación sea amortice en ese tiempo pero generando intereses al inversionista.

Según Arias & Jiménez (2010) en su proyecto para planear el proceso de rutas para los buses escolares del colegio Liceo Cervantes Norte de Colombia, fue necesario proponer el modelo matemático de optimización basado en la meta – heurística optimización por colina de hormigas (ACO).

Para encontrar las rutas propuestas se desarrollaron una estrategia de solución de dos etapas. La primera etapa agrupa, con base en las direcciones, las paradas más cercanas en 11 subgrupos, uno para cada bus. En la segunda etapa consideraron cada subgrupo de nodos y determinaron la ruta propuesta resolviendo el problema como un TSP simétrico. Para lograrlo, desarrollaron un modelo de solución basado en colonia de hormigas. Este modelo, conocido como ACS, fue codificado y ejecutado en el software Matlab. Matlab mostró ser un programa de fácil codificación y ejecución, y tener un procesamiento eficiente en modelos con variables matriciales.

En este proyecto el análisis financiero permitió visualizar el costo de transporte reduciendo un 17%, en el cual la reducción de la distancia total del recorrido en la ruta propuesta es sólo del 15,2%, se debe tener en cuenta que la ruta inicial fue determinada con base en la experiencia y el conocimiento de personas que trabajan diariamente en el transporte escolar. Esto evidencia que la utilización de herramientas científicas puedo mejorar aún más procesos basados en la intuición y en experiencia empírica.

Finalmente, en la definición del sistema a trabajar se estableció que el costo asociado a los arcos entre cada par de nodos sería la distancia euclidiana. Aunque la distancia euclidiana, es una buena aproximación para establecer rutas cortas, es claro que se dejan de lado muchas de las características reales de las calles. Una mejora interesante para este trabajo sería poder utilizar las distancias de los trayectos reales entre las paradas. El uso de programas GPS, junto con alguna herramienta automatizada que permita levantar la esta información de manera eficiente, entregaría resultados mucho más cercanos a la realidad.

Según López, Salas, & Murillo (2014). En su proyecto el problema del agente viajero: un algoritmo determinístico usando búsqueda tabú que los problemas más conocidos en el ámbito de la planeación de rutas son: el Problema del Agente Viajero Simétrico (PAVS) y el problema de planeación de rutas vehiculares, para los cuales ha desarrollado diversos algoritmos que buscan una solución óptima con el menor costo computacional. Entre ellos tenemos a el problema del agente viajero o TSP y el algoritmo determinístico la Búsqueda Tabú (BT) considerado como un método metaheurístico que además es utilizado para resolver

problemas de optimización combinatoria, tales como el problema del vendedor viajero (TSP) y El algoritmo propuesto utiliza la memoria a corto y largo plazo, ya que hace uso de la matriz de frecuencias que expone De los Cobos que permite La exploración de nuevas regiones liberando de esta manera los movimientos señalados como tabú. La heurística que se empleará en este estudio, la hemos clasificado como intuitiva y mejora a través de la experiencia almacenada. Tomará como solución inicial, la permutación natural gerenada por un algoritmo de inserción, la longituTabu será el número máximo de prohibiciones que se establecerá sobre la posición de determinado nodo, los CiclosDiver es un parámetro que le permite al algoritmo revisar el numéro de iteraciones en las que el óptimo local no sea ha actualizado, permitiendo de ésta forma la diversificación para explorar nuevas regiones.

Este método funciona de manera iterativa. Una vez cumplido el criterio de parada, se necesita evaluar la solución inicial y la resultante, a fin de observar la mejora. Si el valor es inferior al inicial, se considera que se ha encontrado un nuevo valor mínimo y además se almacena en una lista llamada OptimoLocal, nombre dado a la trayectoria mínima y se almacena la lista de nodos en el orden en que se da esta condición

Con el algoritmo expuesto, se hará el tratamiento del Problema de Agente Viajero, el resultado obtenido en 10 puntos generados aleatoriamente sobre una circunferencia de radio 6. Se sabe que el óptimo global es 36,79 cm. Obteniendo una longitud inicial de 86.18 cm, número de interacciones 200, y 20 ciclo para diversificar

El propósito del presente trabajo es encontrar soluciones óptimas al problema del agente viajero usando un algoritmo determinístico basado en la técnica Búsqueda Tabú (BT). Para esto, se consideran tres modelos reales, dos para el Agente de la Salud (AS) y otro para el Asesor de Matemáticas (AM), cuyas coordenadas se determinaron con un dispositivo GPS MAP Garmin 60CX, los resultados obtenidos fueron en AM se obtuvo una ahorro de 333.5 Km en 0.452 Segundos representando una optimización de 52.49%, en el agente de salud (AS) obtuvimos 2 resultados; la primera instancia obtuvimos un ahorro de 69.63 km en 2.599 segundos representando una optimización de 22.98 %, la segunda instancia basado en la longitud de tabu obtuvimos una ahorro de 588.59 km en 5.103 segundos, representando una optimización en kilometraje de 65.74 %

Concluye que ha comprobado, lo que en la literatura se ha señalado sobre la búsqueda tabú, en donde se menciona que las metaheurísticas pueden encontrar en tiempo razonable, soluciones aproximadas a la óptima, para el problema del agente viajero.

Según Guarachi & Dora (2008), en el Municipio de El Alto, mediante uso de datos de una encuesta sobre las características económicas, ambientales, sociales, y sobre el reciclaje de los residuos sólidos; mediante una modelo econométrico Robit se obtuvo datos de estimación de las falencias que retienen referente a la participación de los hogares que le correspondes al municipio del El alto en el reciclaje. Las primeras variables fueron la información y conocimiento que maneja cada persona de los beneficios del reciclaje, además un factor importante es la edad, la edad tiene una gran ventaja para poder tener la decisión y ser

participe o no en el reciclaje de los residuos sólidos en los hogares del Municipio.

Para este estudio se consideraron el crecimiento económico y social del Municipio El Alto. Siendo así el resultado obtuvieron que tienen una población de nueva generación totalmente joven. Además el Municipio El Alto realiza monitoreo de agentes ambientes, una gran fortaleza que realiza y destaca el gobierno el Municipio El Alto juntamente trabajando en equipo con la dirección de medio ambiente que ejecutan proyectos como: “Reciclaje de papel en desuso” con la Colaboración de Copelme, proyecto “Ecovecindarios” con la cooperación de Swisscontact, programa “Recicla, cuida tu ciudad” por la iniciativa de Soboce.

El objetivo de este proyecto es difundir los proyectos que están desarrollando este gobierno haciendo participe empresas privadas que su giro de negocio sea el mismo es decir manejo de los residuos sólidos para poder reciclarlos en conjunto procesarlos y además monitorear y analizar los impactos ambientales que generan esta población actual. Además planificaremos un crecimiento económico mediante la integración del manejo sostenible en n los nuevos planes y proceso políticos.

Según Oré & Lugo (2012), el presente estudio de Optimización de rutas en la distribución de productos de belleza, comprueba y muestra sus resultado que trabajar con un modelo de algoritmo matemático para la distribución logística de productos de belleza son efectivas tanto para estudio en gravite como aplicarlas en campo siendo demostradas en San juna de Miraflores y Villa María del triunfo obtenido una distribución logística optimizada en de las

rutas para ambos distritos, además la logística es más eficiente por ende mantiene a sus clientes satisfechos con la entrega de productos.

Para realizar el estudio se trabajó con tres modelos matemáticos que nos ayudaron optimizar recursos y las rutas para ambas zonas. Entre ellas trabajamos con Algoritmo de ahorros, algoritmo de pétalos y algoritmo de inserción, para la zona de San Juan de Miraflores no se aplica el algoritmo de Inspección.

El procedimiento para realizar el estudio realizamos una visita a campo para realizar levantamiento de información y conocer el estado actual, la problemática en sí y los indicadores de desempeño del sistema actual tanto su ruta por cada punto de reparto y su respectiva distancia.

El objetivo principal es Optimizar las rutas de distribución logística en una empresa de productos de belleza mediante modelos matemáticos considerando el punto inicial de cada zona para poder aplicar el modelo matemático y obtener un óptimo resultado.

Obtuvimos un algoritmo práctico y sencillo de aplicar como algoritmo de ahorros que se aplicó para ambas zonas a comparación con los dos restantes. Mientras que para tomar como el tiempo de ejecución y el algoritmo de pétalos es el que nos demandó mayor tiempo para comprender el mecanismo de trabajo y poder ejecutarlo

Se obtuvo como resultados que en la zona de San Juan de Miraflores actualmente es de 26.25 Kilómetros, con nuestro modelo

matemático obtuvimos 15.35 Kilómetros mejorando un 41.52% siendo una mejora valida y muy atractiva. En cuanto a los ahorros económicos esto representa S/ 5.45 esto representa un ahorro de S/. 196.20 año en 36 campañas.

Por otro lado el resultado de algoritmo de intersección aplicado en el Distrito de Villa María el Triunfo es atractivo y viable como resultado obtuvimos un ahorro de 10.13 Kilómetros, en cuanto a los ahorros económicos esto representa S/ 5.06 esto representa un ahorro de S/. 182.16 año en 36 campañas.

Si se aplicara en todos los distritos de lima obtendríamos un resultado totalmente atractivo porque estaríamos ahorrando en diferentes recursos como la gasolina además lograríamos controlar y sustentar con eficiencia cada recurso y obtendríamos un resultado mucho más razonable al estado actual, para logara esto los modelos matemáticos considerados deben ser aplicados para cada distrito.

Los transportistas deberían tener un diseño de cada ruta con los puntos de reparto antes de empezar con la distribución ya que así podrán reflejar cómo van a realizar el reparto en las zonas. Esto les generará un ahorro de tiempo ya que los transportistas pierden tiempo al realizar su recorrido en plena zona.

Según Larumbe & Federico (2009), presenta una aplicación de la Optimización de residuos sólidos en la zona sur de la ciudad de Buenos Aires combinatoria para optimizar la rutas de vehículos en la Ciudad de Buenos Aires. Una zona con distintos cuadras y cada

esquina fijado como puntos, cada punto es donde el vehículo debe pasar únicamente una vez, el desarrollo del programa hace una peculiar optimización devolviendo un orden de los puntos para que el recorrido y la distancia sea mínima. Este problema se conoce como el Problema del Viajante de Comercio (Traveling Salesman Problem (TSP).

La problemática y el contexto actual es que proyectamos optimizar la recolección de residuos sólidos al Sur de Buenos Aires, que está administrada por Ente de Higiene Urbana (EHU), encontrándose distribuidos los camiones recolectores de contenedores en cuatro puntos diferentes, además cada camión tiene asignado una Sub Zona con su contenedor en lugares estratégicos según lo establecido por la misma. Nuestro objetivo es encontrar la ruta óptima para cada camión que le permita ser más eficiente, a partir del EHU, atendiendo a todos los contenedores de su sub zona, ir al depósito y retornar al EHU.

El trabajo que se realizó consistió en hacer un levantamiento a través de modelamiento de un mapa gráfico, es decir a la ciudad se la tenía que graficar y poder implementar el Algoritmo A* y poder calcular los recorridos mínimos por cada punto que se graficó en el mapa. El modelo y el algoritmo están ‘planteados para que calcule un recorrido mínimo que puede realizar un vehículo, por lo que se consideran los sentidos de las calles y los giros según si hay semáforo o no en una intersección.

Se desarrolla un programa en VisualWorks SmallTalk que facilita mostrar soluciones óptimas de nuestro problema y presentar la mejor ruta en forma de listados y direcciones, de imágenes y de

animaciones. Se utiliza una extensión llamada Takenoko que permite dibujar gráficos en una ventana. Se utiliza QuantumGIS para leer el mapa de la ciudad en archivos de formato Shapefile (SHP), una base de datos relacional PostgreSQL con extensiones geométricas PostGIS y un programa que resuelve el Problema del Viajante de Comercio en forma exacta llamado Concorde.

Como resultado de la aplicación obtuvimos la distancia de los itinerarios se redujo hasta un 39% mientras que el trabajo se calculó la distancia recorrida por TN de trasporte obtuvimos una reducción hasta un 43 %

2.2. Estado del arte

2.2.1. La investigación operativa como herramienta de toma de decisiones en el sector de la salud: un estado de la técnica

Los aportes de la Investigación de Operaciones (IO) en el campo de la salud han sido estudiados en la literatura científica desde la década de 1960, abarcando herramientas para el soporte a la decisión en enfoques operativos, tácticos y estratégicos. El objetivo de este artículo es analizar el avance y el desarrollo histórico del uso de modelos operativos en el campo de la salud. A través de una revisión bibliográfica descriptiva y un análisis bibliotecario de artículos publicados durante el período 1952-2016, se estudia el comportamiento de las tendencias en la aplicación de modelos operativos para la optimización, la planificación y la toma de decisiones en el sector salud. Se evidencia una tendencia creciente en el uso de modelos de IO durante el periodo estudiado.

Desde sus inicios, a mediados del siglo XX, Operations Research (OR) ha experimentado un gran aumento en diferentes situaciones de resolución de problemas de múltiples sectores. Uno de ellos es el sector de la salud, en el que los procesos de toma de decisiones se relacionan principalmente con soluciones de asignación y optimización de suministros, análisis de grandes bases de datos, programación de actividades y personal y planificación de servicios de salud. En la actualidad, la definición de modelos operativos aplicables a los sistemas de apoyo a la toma de decisiones para problemas asociados al área de salud puede dar como resultado una tarea compleja. Por lo tanto, la identificación de aplicaciones previas y patrones de desarrollo en la disciplina estudiada a lo largo del tiempo se convierte en un imperativo para facilitar la selección de modelos cuantitativos que se ajusten a la necesidad del soporte de decisiones. (Feldstein, 1963)

La gran diversidad de contribuciones y enfoques establecidos en la literatura hace que la O se convierta en una de las líneas de investigación más sólidas con respecto a las herramientas de apoyo a la toma de decisiones en el sector de la salud. Algunas de las contribuciones más recientes apuntan a resolver problemas de asignación de ambulancias bajo demandas inciertas, usando modelos híbridos para optimización de ocupación de camas hospitalarias, usando modelos de Markov para el proceso de admisión de pacientes, decidiendo la adquisición de

equipos bajo el concepto de análisis multicriterio a través de métodos como RMPC (AHP, TOPSIS, SAW), PROMETHEE II), utilizando inteligencia computacional en procesos de formulación y desarrollo de medicamentos para la industria farmacéutica, y la identificación de factores a ser monitoreados a fin de reducir la brecha entre OR y la creación de tecnología y sistemas de apoyo a la toma de decisiones para el sector de la salud (Belciug 2016)

Debido a esto, este trabajo tiene como objetivo analizar el desarrollo histórico de la aplicación de los modelos de quirófano en la asistencia sanitaria con el fin de identificar las tendencias de la aplicación y las oportunidades de trabajo futuras. Con este fin, este documento está organizado de la siguiente manera.

Descripción de la producción científica analizada

La base de datos de citas informa un total de 2563 documentos relacionados con el uso de la R en el campo de la salud entre los años 1952 y 2016 (Fig... 2.1). Estos documentos se clasificaron de la siguiente manera: 1698 documentos científicos, 283 documentos de revisión, 279 documentos de conferencia y 312 documentos de otros tipos. Se obtiene un resultado similar cuando se utilizan los mismos términos de búsqueda en la base de datos de PubMed (2581 documentos).

Atención Médica

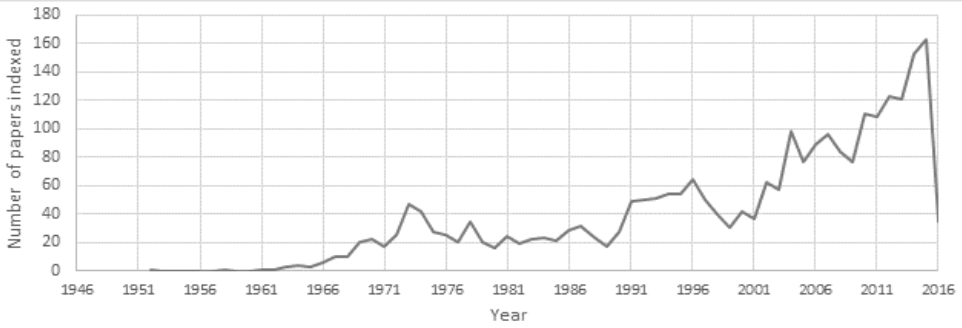


Figura 2.1. Producción científica relacionada con la Investigación operativa en atención medica
Fuente: Alfonso R. Romero (2016)

Aproximadamente, el 52% de los documentos indexados por Scopus se publicaron en revistas de Medicina y el 18,2% en revistas de Decision Science. Con respecto al origen geográfico de las publicaciones, los Estados Unidos y el Reino Unido encabezan los dos primeros lugares en el ranking por el número de documentos indexados, seguidos de India, Canadá y Suiza. Otro punto importante es resaltar que desde el año 1973 y 2016 comienza a utilizar los términos de búsqueda Árboles de decisión y salud y en la gerencia de operaciones de toda organización entre los modelos matemáticos que se utilizaran son modelos de de programación, Teoría de colas, Ubicación, asignación y modelos de enrutamiento, Estos modelos se utilizan comúnmente en el diseño de la cadena de suministro y, junto con los modelos de enrutamiento, ayudan a reducir los viajes y optimizar los recursos. Rahman, S. y Smith (2000)

Los diferentes enfoques en la investigación de operaciones permiten abordar la amplia variedad de problemas en la atención de la salud y diferentes organizaciones. Las soluciones para problemas de orientación cualitativa (problemas de salud pública) y los requisitos de optimización para las variables económicas, los niveles de atención y la seguridad del paciente se proporcionaron de manera efectiva y equitativa.

Las contribuciones relacionadas con el uso de métodos OR en el sector sanitario muestran un patrón de desarrollo hacia los Sistemas de Soporte de Decisiones Clínicas, que se define por una tendencia ascendente en la publicación en papel que comenzó después de la década de los 70, alcanzando sus niveles más altos en el período posterior de 2013.

El desarrollo de tecnología y sus mejoras en el procesamiento computacional y la capacidad de almacenamiento desempeñaron un papel importante en el desarrollo de aplicaciones OR a través del tiempo. Establecer una relación causal directa entre estos dos aspectos representa un objetivo interesante para futuras investigaciones.

El quirófano en el cuidado de la salud comienza a considerarse una disciplina casi diferente, independiente de la concepción general de las aplicaciones de quirófano. El creciente número de revistas especializadas es una prueba del rápido desarrollo de esta disciplina y la necesidad de plataformas científicas más centradas para

compartir nuevas contribuciones y resultados en este campo.

Además debido a la tendencia de crecimiento exponencial de publicaciones que emplean la investigación de operaciones como una herramienta de trabajo para resolver problemas desde una perspectiva cuantitativa, se han presentado nuevas tendencias de aplicación como la salud, logística, producción, comercial y la recolección de residíos sólidos para el enrutamiento de los recolectores.. Las heurísticas y metaheurísticas son parte de estas tendencias empleadas en el sector de servicios y producción. En esta medida, la evolución de la toma de decisiones a través de técnicas cuantitativas ha sufrido cambios que permiten mejorar el proceso matemático de esta forma, resolver problemas de tipo globalizado en la empresa. Ramírez, Castro & Orjuela (2014)

Aspectos claves para abordar y tomar decisiones en problemas de la optimización

La clave para abordar un problema de optimización de rutas está en comprender que la forma de afrontarlo depende de las particularidades de cada organización y, por tanto, no existen soluciones globales capaces de resolver todos los modelos de distribución existentes. Brain & Trust (2009)

Existen varios aspectos que resultan críticos:

Definir claramente el objetivo de la optimización: es decir, definir claramente el alcance del problema que se quiere resolver y las variables más críticas a la hora de

medir el éxito de la optimización (nivel de servicio, coste, etc.)

a. **Delimitar claramente el servicio actual** en términos de características del producto, características de las rutas y características de la organización (procesos y medios con los que cuenta)

b. **Establecer el tipo de resultado deseado** para el proyecto, entendiendo como tal, si se busca un sistema que permita controlar numerosas rutas aun a costa de perder flexibilidad o, por el contrario, un sistema más flexible con un alcance más acotado

La selección del software de Optimización.

Actualmente el reto parece estar en la elección de una herramienta adecuada entre el inmenso universo de aplicaciones disponibles, capaz de aportar una solución de calidad dentro de un tiempo de cálculo razonable, teniendo presente que un problema de transporte determinado presenta múltiples escenarios posibles, y manejando un modelo económico adecuado a las variables y restricciones reales. Responder a esta pregunta "¿Qué herramienta será la más adecuada para optimizar las rutas de transporte de mi empresa?" pasa necesariamente por conocer en detalle qué variables deben manejar los algoritmos de cálculo empleados en el software que tratará de solventar el problema en base a las circunstancias particulares del modelo logístico de la organización; a continuación se tratarán de aportar las "claves" necesarias para identificar dichas variables. Brain & Trust (2009)

2.3. Base teórica científicas

2.3.1. Investigación de Operaciones

a) Orígenes de la investigación de operaciones

La Investigación de Operaciones o Investigación Operativa es una disciplina donde las primeras actividades formales se dieron en Inglaterra en la Segunda Guerra Mundial, cuando se encarga a un grupo de científicos ingleses el diseño de herramientas cuantitativas para el apoyo a la toma de decisiones acerca de la mejor utilización de materiales bélicos. Se presume que el nombre de Investigación de Operaciones fue dado aparentemente porque el equipo de científicos estaba llevando a cabo la actividad de Investigar Operaciones (militares). Una vez terminada la guerra las ideas utilizadas con fines bélicos fueron adaptadas para mejorar la eficiencia y la productividad del sector civil. Una de las áreas principales de la Investigación de Operaciones es la Optimización o Programación Matemática. La Optimización se relaciona con problemas de minimizar o maximizar una función (objetivo) de una o varias variables, cuyos valores usualmente están restringidos por ecuaciones y/o desigualdades. (Hillier, Fredereick, Lieberman, & Gerald, 2010, pp. 1,2)

Al terminar la guerra, el éxito de investigación de operaciones en las actividades bélicas genero gran interés debido a las posibilidades de aplicarla en un ámbito distinto al militar. Una vez que la explosión industrial posterior a la guerra siguió su curso, los problemas provocados por el aumento de la complejidad y la especialización de las organizaciones pasaron

de nuevo al primer plano. (Hillier, Fredereick, Lieberman, & Gerald, 2010, pp. 1,2)

Entonces comenzó evidente para un gran número de personas, entre los consultores industriales, que habían trabajado con o para los equipos de investigación de operaciones durante la guerra. La investigación de operaciones tomo mayor importancia en la década de los 50, este modelo se introdujo por estos visionarios, en el mundo de las organizaciones industriales, de negocios y de gobiernos (municipalidades) Desde entonces se ha desarrollado con rapidez. (Hillier, Fredereick, Lieberman, & Gerald, 2010, pp. 1,2)

b) Naturaleza de la investigación de operaciones

Las áreas científicas establecidas son el pilar del termino Investigación en el nombre de la IO, porque utilizan un enfoque similar al área, puesto que el método científico es un modelo que busca explorar en los diversos problemas que deben ser enfrentados, sin embargo en algunos casos utilizan el termino management science o ciencias de la administración, podemos considerar como sinónimos de la investigación de operaciones. Los procesos siempre comienzan por la observación cuidadosa y que poco a poco nos permita modelarlo, dando formulación al problema, lo que incluye recolección de los datos pertinentes. El siguiente paso será la construcción y adaptación del problema a un modelo científico, con lo cual se intentará mantener la esencia real del problema. (Hillier, Fredereick, Lieberman, & Gerald, 2010, pp. 1,2)

En esta hipótesis se presenta en la que se propone un modelo que proyecta ser efectiva y precisa de las especificaciones principales del evento, permitiendo que las recomendaciones, soluciones y conclusiones seas viables para la problemática actual y real.

Luego se continúa a la relocalización de las pruebas o experimentos idóneos para comprobar la hipótesis, realizando unas modificaciones necesarias y verificando en el tiempo indicado, conocido como el paso de validación del modelo (Hillier, Fredereick, Lieberman, & Gerald, 2010, pp. 1,2)

Por este lado la investigación de operaciones involucra e integra la investigación científica creativa de las propiedades fundamentales de la investigación de operaciones, que abarca de la administración de campo dela organización. Para ello el tomador de decisiones para que su proyecto tenga éxito tiene que tener criterio analítico y que concuerde con la práctica para realizar sus conclusiones necesarias (Hillier, Fredereick, Lieberman, & Gerald, 2010, pp. 1,2)

La IO, opta una visión global y organizacional. Solucionar problemas de interés dentro de la organización y además con sus terceros obteniendo como resultado exitoso en su conjunto. Esto no quiere decir que la investigación o estudio que esté desarrollando de un problema considere en forma global todos los aspectos de una empresa, si no que los objetivos y la meta que se ha propuesto se asemejen y coincidan entre sí con los globales. Una de las cualidades adicionales de la IO es que

busca diferentes soluciones y se queda con la mejor, es decir la solución óptima, siendo la que le da solución al problema de la organización, (Se dice una mejor solución y no la mejor solución porque es posible que existan muchas soluciones que puedan considerarse como las mejores). (Hillier, Fredereick, Lieberman, & Gerald, 2010, pp. 1,2)

Las frases tienen un sentido de veracidad, dos cabezas piensan mejor que una; tal como no podemos esperar que un individuo sea experto en múltiples ámbitos del trabajo de la IO o problemas que se estudien, es mejor requerir de un grupo de individuos diversas actitudes y antecedentes. (Hillier, Fredereick, Lieberman, & Gerald, 2010, pp. 2,3)

c) Contribución de la investigación de operaciones a nivel industrial

Si bien los procesos tecnológicos aumentaron la eficiencia de los procesos de producción a principios de la revolución industrial, el costo de los equipos necesarios para la fabricación con frecuencia superaba los recursos del capital de los artesanos. Para aprovechar la producción masiva, las empresas que poseían el capital suficiente debían planificar y organizar de manera óptima sus recursos, humanos y materiales. Por ello en los últimos 70 años, la IO ha desempeñado una función primordial. Montufar, Flores, López, Redchuk & Gerardo (2009)

d) Modelos de la Investigación de Operaciones

La naturaleza de la investigación de operaciones, la definición del problema a resolver constituye un pasos claves para que los resultados obtenidos del análisis sean útiles y efectivo para la empresa, por tanto, en los modelos de la investigación de operaciones se considera tres componentes muy importantes, alternativas, criterios, objetivo y restricciones, en este paso se deberá definir el alcance del estudio, la información con que se encuentra y las restricciones del sistema, entre otros. Para diseñar este punto, se considera la fonación rectángulo de área máxima con un trozo de alambre de L pulgadas de longitud. ¿Cuál será el mejor ancho y altura del rectángulo? (Taha; Hamdy, 2012, pp. 1,3)

Las alternativas del problema se identifican definiendo el ancho y la altura como variables algebraicas:

$$\boldsymbol{W} = Ancho\ de\ retángulo\ en\ pulgadas$$
$$\boldsymbol{h} = altura\ del\ retangulo\ en\ pulgadas$$

Con base en estas definiciones, las restricciones de la situación pueden expresarse verbalmente como

1. Ancho del rectángulo + altura del rectángulo = la mitad de la longitud del alambre.
2. El ancho y la altura no pueden ser negativos.

Estas restricciones se traducen de manera algebraica como sigue:

$$\mathbf{1.}\ \ 2(w + h) = L$$
$$\mathbf{2.}\ \ w \geq 0, h \geq 0$$

Ahora el único componente restante es el objetivo del problema; es decir, maximizar el área del rectángulo. Si z se define como el área del rectángulo, el modelo completo es

Sujeto a:

$$\text{Maximizar } z = wh$$

$$2(w + h) = \mathrm{L}$$

$$w, h \geq 0$$

Utilizando cálculo diferencial, la mejor solución de este modelo es $W = h = \frac{L}{4}$ la cual requiere la construcción de una forma cuadrada. Con los datos de los dos ejemplos anteriores, el modelo general de IO se organiza en el siguiente formato general:

Maximizar o minimizar **Función objetivo**
sujeto a
Restricciones

Una solución del modelo es factible si satisface todas las restricciones; es óptima si, además de ser factible, produce el mejor valor (máximo o mínimo) de la función objetivo.

Ejemplo 1: Los boletos, podemos preciar que el problema es si tiene soluciones diferentes y la tercera es la que produce la óptima solución.

Se presenta un evento de negocios que requiere como mínimo cinco semanas de viaje continuo entre Fayetteville (FYV) y Denver (DEN). La salida de Fayetteville los lunes y retorna los miércoles. Un boleto de viaje esta valorizado en $ 400, pero la compañía ofrece un gran descuento del 20% si el viaje lo tomas todo el fin de semana. Un boleto básico para cualquier lugar cuesta 75% del precio regular. ¿Cómo debe comprar los boletos para reducir el costo del traslado durante las 5 semanas?

Podemos considerar la situación como un problema de toma de decisiones, cuya solución requiere responder tres preguntas razonables:

¿Cuáles son las alternativas de decisión?

Comprar 05 boletos normales FYV-DEN-FYV para salir el lunes y regresar el miércoles de la misma semana.

¿Conforme a qué restricciones se toma la decisión?

Comprar 01 FYV-DEN, cuatro DEN-FYV-DEN que abarquen fines de semana, y uno DEN-FYV.

¿Cuál es el criterio objetivo apropiado para evaluar las alternativas?

Comprar un boleto FYV-DEN-FYV para el lunes de la primera semana y el miércoles de la última semana, y 04 DEN-FYV-DEN para los viajes restantes. Todos los boletos en esta alternativa cubren por lo menos un fin de semana.

La restricción en estas opciones es que pueda salir de FYV el lunes y regresar el miércoles de la misma semana.

El precio de los boletos es un objetivo que se debe considerar para opción propuesta, la opción de menor costo será la mejor. Específicamente, tenemos:

$$Costo\ de\ la\ alternativa\ 1 = 5\ X\ 400 = \$2000$$

$$\begin{aligned} Costo\ de\ la\ alternativa\ 2 \\ &= 75\ x\ 400 +\ 4\ x\ (.8\ x\ 400) + .75x\ 400 \\ &= \$1880 \end{aligned}$$

$$Costo\ de\ la\ alternativa\ 3 = 5x(8x400) = \$1600$$

La alternativa 3 es la mejor porque es la más económica.

e) Solución del modelo de Investigación de Operaciones

Los problemas surgidos en la logística y transportes, en la actualidad no son complejos, puesto que en la investigación de operaciones no existe sólo una técnica general para resolver un problema, hoy en día la existencia de diversos modelos matemáticos puede darnos la solución que buscamos. Lo que deberíamos considerar es el tipo y complejidad del modelo matemático, determinando la naturaleza del método de solución, Por ejemplo, en el problema de los boletos requiere una clasificación simple de las alternativas, basada en el precio de la compra total, mientras que la solución del problema del

rectángulo utiliza cálculo diferencial para determinar el área máxima. (Taha; Hamdy, 2012, pág. 5)

La programación lineal es una de las técnicas más importantes de la investigación de operaciones. Esta técnica puede adaptarse fácilmente a modelos con funciones, objetivos y restricciones lineales. Entre otras técnicas también está la programación entera (las variables asumen valores enteros), la programación dinámica (el modelo original puede descomponerse en sub problemas para su mejor manejo), la programación de red (el problema se puede adaptar y modelarse como una red), y la programación no lineal (la función del problema tiene un modelo no lineal). Existen otras técnicas y herramientas de la IO con que se cuenta (Taha; Hamdy, 2012, p. 5)

Lo más característico de las técnicas de IO es que por lo general las soluciones se obtienen de muchas formas (según como adaptemos los datos del modelo), también lo podemos determinar a través de algoritmos. Como bien sabemos un algoritmo proporciona reglas fijas de cálculo que se aplican en forma repetitiva al problema, y cada repetición (llamada iteración) acerca la solución a lo óptimo. Como los cálculos asociados con cada iteración suelen ser tediosos y voluminosos, es recomendable que estos algoritmos se ejecuten con la computadora. (Taha; Hamdy, 2012, p. 5)

En algunas situaciones los modelos matemáticos pueden ser imposibles y complejos de darle solución, con cualquiera de los algoritmos de optimización disponible. En esos casos es

necesario buscar una solución aplicando la heurística o bien reglas empíricas, porque de otra forma será una búsqueda sin resultados. (Taha; Hamdy, 2012, p. 5)

2.3.2. Panorama del enfoque de modelado en investigación de Operaciones.

a) Fases de un estudio de IO

Los estudios realizados en la investigación de operaciones tienen una base primordial que es el trabajo en equipo, donde cada especialista analiza con sus conocimientos de modelado, deben complementarse con la experiencia y la cooperación del cliente para quien hacen el estudio. (Taha; Hamdy, 2012, p. 9)

Para la toma de decisiones como herramienta, la IO es una ciencia por las técnicas matemáticas que incorpora, y es un arte porque el éxito de todas las fases que anteceden y siguen a la resolución del modelo matemático depende mucho de la creatividad y la experiencia del equipo de investigación de operaciones, además no bastaría una competencia analítica. Puesto que requiere, entre otros atributos, juicio técnico (es decir, cuanto y como utilizar una técnica), así como supervivencia organizacional y habilidades de comunicación. (Taha; Hamdy, 2012, p. 9)

Existe una complejidad en cursos de acción específicos para estos modelos intangibles (semejantes a los que indica la teoría precisa de la mayoría de los modelos matemáticos), sim embargo es posible ofrecer lineamientos generales para la

implementación de la investigación de operaciones. (Taha; Hamdy, 2012, p. 9)

Las fases principales de la implementación de la investigación de operaciones en la práctica comprenden Fig. 2.2.

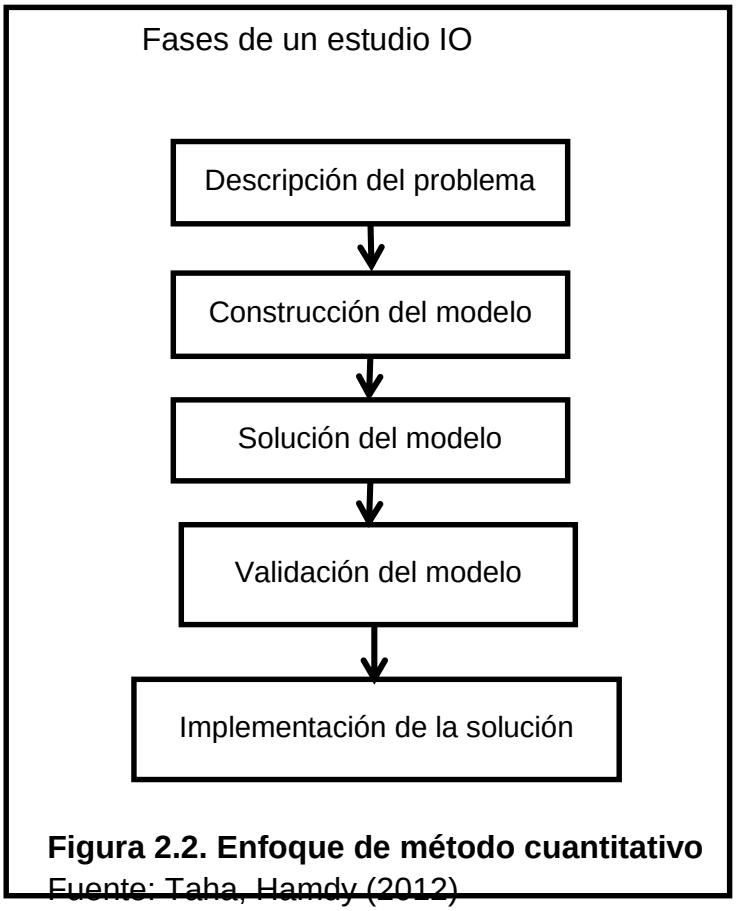


Figura 2.2. Enfoque de método cuantitativo
Fuente: Taha, Hamdy (2012)

La tercera frase, solución del modelo, es la más fácil de implementar en un estudio de investigación de operaciones, porque busca principalmente adaptarse de manera precisa en los modelos matemáticos.

La definición del problema: La definición del problema: Según la investigación de operaciones en este punto el objetivo

es identificar tres aspectos principales del problema de decisión: (1) Una descripción de la meta o el objetivo del estudio, (2) Identificar las alternativas de decisión y determinar el objetivo de estudio, y (3) Un reconocimiento de las limitaciones, restricciones y requisitos bajos las cuales funciona el modelo. (Taha; Hamdy, 2012, p. 10)

La construcción del modelo: Consiste en transformar la definición del problema en datos relacionados con los modelos matemáticos. Si los datos relacionados se ajustan a uno de los modelos matemáticos estándar, como la programación lineal, siempre opta por utilizar los algoritmos disponibles. Si las combinaciones matemática con extremadamente complejas como para determinar una solución analítica. Los analistas del equipo IO puede utilizar su criterio y optar por simplificar del modelo matemático heurístico, o bien considerar la simulación, si es lo apropiado. Que consiste en cambiar la definición del problema en la base de datos relacionados con los modelos matemáticos. Si los datos relacionados se ajustan a uno de los modelos matemáticos estándar, como la programación lineal. (Taha; Hamdy, 2012, p. 10)

La solución del modelo: Es considerada la más básica y sencilla para aplicarlas a comparación de todas las fases de la investigación de operaciones. Po que los algoritmo que están implicados es esta fase son bien definidos. Resaltando que lo más esencial de esta fase solución del modelo es el análisis de sensibilidad. Que se enfoca a la obtención de data adicional sobre el comportamiento de la solución óptima cuando el

modelo realiza pruebas y experimenta cambios de parámetros. El análisis de sensibilidad se utiliza particular mente cuando hay problemas de precisión al estimar parámetros de mismo. En estos casos es importante estudiar el comportamiento de la solución óptima en el entorno de los parámetros estimados. (Taha; Hamdy, 2012, p. 10)

La validez del modelo: Comprobar la veracidad del modelo matemático, es decir si en realidad hace lo que dice hacer, ¿predice el comportamiento del sistema que se estudia al principio? Al principio, el equipo de IO debe estar seguro delos resultado que va obtener y sobre todo convencido de que el modelo no contenga “sorpresas”. En otras palabras, ¿tiene sentido la solución? ¿Los resultados sin intuitivamente aceptables? Del lado formal, un método común de comprobar la validez de un modelo es comparar su resultado con resultados históricos. Si el modelo propuesto representara un sistema nuevo (inexistente), no habría datos históricos disponibles. En esos casos podemos utilizar la simulación como una herramienta independiente para comprobar el resultado del modelo matemático. (Taha; Hamdy, 2012, p. 10)

La implementación de la solución: Para confirmar si un modelo es válido comprende en la transformación de resultados en instrucciones de operación comprensibles que se emitirán a las personas que administrarán el sistema recomendado. La responsabilidad de esta tarea recae principalmente en el equipo de IO. (Taha; Hamdy, 2012, p. 10)

2.3.3. Modelo de transporte y sus variantes en la investigación de operaciones

El objetivo es minimizar, costo total del transporte mediante el modelo matemático y a la vez satisfacer los límites de la oferta y la demanda. Este modelo su ámbito de aplicación es extensiva y confiable el modelo de transporte generando soluciones atinentes al área de operaciones, inventario y asignación de elementos.

El procedimiento de resolución de un modelo de transporte se puede llevar a cabo mediante programación lineal común, sin embargo su estructura permite la creación de múltiples alternativas de solución tales como la estructura de asignación o los métodos heurísticos más populares como Vogel, Esquina Noroeste o Mínimos Costos.

a) Definición del modelo de transportes

El problema general se representa en la red de la figura 2.2. Hay “m” fuentes y “n” destinos, cada fuente y cada destino representados por un nodo. Los arcos representan las rutas que enlazan las fuentes y los destinos. El arco (i, j) que une a la fuente i con el destino j conduce dos clases de información: el costo de transporte cij por unidad, y la cantidad transportada xij. La cantidad de oferta en la fuente i es ai y la cantidad de demanda en el destino j es bj. El objetivo del modelo es determinar las incógnitas xij que minimicen el costo total de transporte, y que al mismo tiempo satisfagan las restricciones de oferta y demanda. (Taha; Hamdy, 2012, p. 175)

Balanceo del modelo de transporte. En la figura 2.3 vemos una replantación de la tabla de transporte, un modelo balanceado, es decir, que la demanda total es igual a la oferta

total. Si el modelo está desbalanceado, podemos agregar un origen o un destino ficticios para restaurar el balance

Representación del modelo de transporte con nodos y arcos

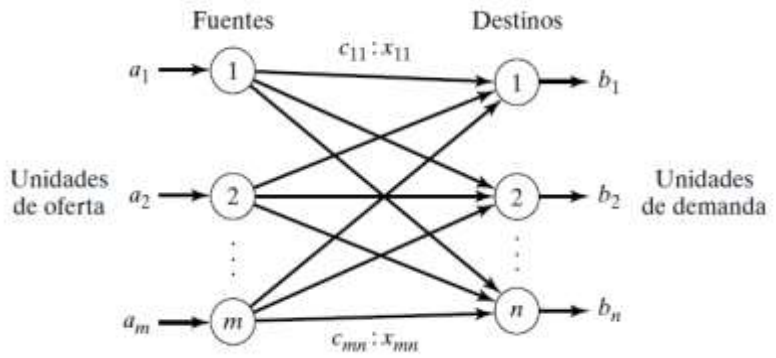


Figura 2.3. Modelo de transporte con nodos y arcos
Fuente: Taha, Hamdy (2012)

b) Algoritmo de transporte

Para aplicar el algoritmo de transporte se sigue los pasos exactamente iguales a los del método simplex. Sin embargo, en lugar de utilizar la tabla simplex regular, aprovechamos la estructura especial del modelo de transporte para organizar los cálculos en una forma más conveniente. (Taha H. A., 2004, p. 187)

Paso 1. Determine una solución factible básica inicial.

Paso 2. Use la condición de optimización del método simplex para determinar la variable de entrada de entre todas las variables no básicas. Si se satisfacen las condiciones de optimización, deténgase.

Paso 3. Use la condición de factibilidad del método simplex para determinar la variable de entrada de entre todas las

variables básicas actuales, y halle la nueva solución básica. Regrese al paso 2.

2.3.4. Modelo de Programación Lineal

La Programación Lineal corresponde a un algoritmo a través del cual se resuelven situaciones reales en las que se pretende identificar y resolver dificultades para aumentar la productividad respecto a los recursos (principalmente los limitados y costosos), aumentando así los beneficios. El objetivo primordial de la Programación Lineal es optimizar, es decir, maximizar o minimizar funciones lineales en varias variables reales con restricciones lineales (sistemas de inecuaciones lineales), optimizando una función objetivo también lineal.

Los resultados y el proceso de optimización se convierten en un respaldo cuantitativo de las decisiones frente a las situaciones planteadas. Winston & Wayne (2005).

a) Definiciones de programación Lineal

Mediante una encuesta realizada a un mercado, nos indica que la demanda diaria de pintura para interiores no puede exceder la de pintura para exteriores en más de una tonelada. Asimismo, que la demanda diaria máxima de pintura para interiores es de 2 TN. Taha; Handy (2010).

Reddy Mikks se propone determinar la (mejor) combinación óptima colores para exteriores de viviendas y exteriores que minimicen los recursos diarios. Todos los modelos de IO, incluido el de PL, constan de tres componentes básicos.

Componente 1: Las variables de decisión que pretendemos determinar.

Componente 1: El objetivo (la meta) que necesitamos optimizar (maximizar o
Minimizar).

Componente 1: Las restricciones que la solución debe satisfacer.

b) Forma canónica de un programa lineal

Forma canónica de un programa lineal

Es considerada de forma canónica si el objetivo es maximizar una función lineal sujeto a restricciones exclusivamente de la forma "menor igual que" y las variables para la toma de decisiones solamente admiten valores no negativos. Celis (2009)

$$Zmax = 2X1 + 5X2 + X3$$

Sujeto a:

$$2X1 + 3X2 + X3 \leq 18$$

$$X1 + 4X2 + 2X3 \leq 20$$

$$5X1 + X2 + 4X3 \leq 40$$

$$X1 \geq 0, \; X2 \geq 0, \; X3 \geq 0$$

Forma estandarizada de un programa lineal

Para poder validar que es de forma estandarizada se basa en el objetivo de maximizar una función sujeto a restricciones exclusivamente de la forma "igual que" y las variables de decisión sólo admiten valores no negativos. Celis (2009)

$$Zmax = 7X1 + 9X2 + X3$$

Sujeto a:

$3X1 + X2 + 6X3 = 100$

$X1 + 8X3 = 60$

$4X1 + 2X2 + X3 = 40$

$X1, X2, X3 \geq 0$

Forma mixta de un programa lineal

Se considera mixta cundo tiene de ambas es decir la función objetivo es la maximización o la minimización de una función lineal sujeto a restricciones de la forma "menor o igual que", "igual que" ó "mayor ó igual que" y las variables de decisión sólo admiten valores no negativos. Celis (2009)

$Zmax = 4X1 + 7X2$

Sujeto a:

$6X1 + X2 \leq 10$

$X1 + 8X2 = 60$

$X1 + 20X2 \geq 200$

$X1, X2 \geq 0$

f) Métodos para la resolución de problemas en programación lineal

Método geométrico o gráfico

Un problema de programación lineal puede ser resuelto en forma gráfica o en forma analítica.

El método gráfico, tiene una virtud de ser fácilmente entendible que te permite visualizar las propiedades de un programa lineal. Sin embargo de nos basamos en la práctica en punto de vista cambia, es decir el método gráfico no es aplicable, cuanto está limitado a programas que tengan un máximo de dos variables, y

por otro lado, los problemas prácticos de programación lineal, normalmente tienen decenas, centenas e incluso miles de variables, lo cual implica la necesidad de usar métodos analíticos. (Ortega, 2012)

Entonces podemos determinar que le método gráfico determina las primeras líneas de primer cuadrante (debido a la condición de no negatividad), considerado como la región de la región de soluciones factibles, y luego graneando sobre ella la función objetivo, se ubica el programa o programas óptimos según las figuras 2.4, 2.5, 2.6, 2.7. (Ortega, 2012)

El método grafico ha sido desarrollado para demostrar cómo un problema industrial dado puede expresar en forma matemática y hallar su solución óptima. (Celis, 2009)

Sin embargo, en las aplicaciones prácticas, este método es poco empleado, ya que admite el análisis de solo dos productos, desde el momento que se trabaja en un plano o espacio de dos dimensiones. (Ortega, 2012)

Región factible

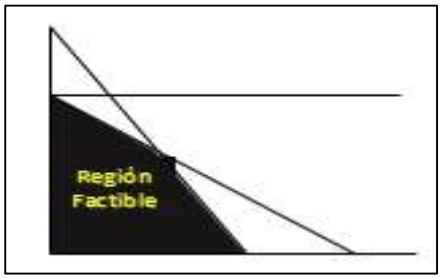


Figura 2.4. Representación gráfica que cumple con todas las restricciones y condiciones de no negatividad

Fuente: Ortega (2012)

Solución factible

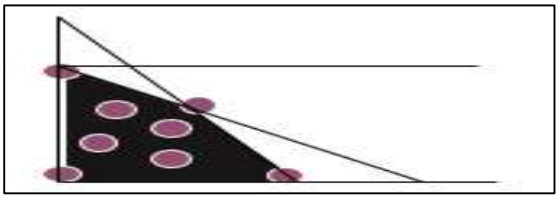


Figura 2.5. Gráfica de cualquier punto situado en la región factible.
Fuente: Ortega (2012)

Solución básica

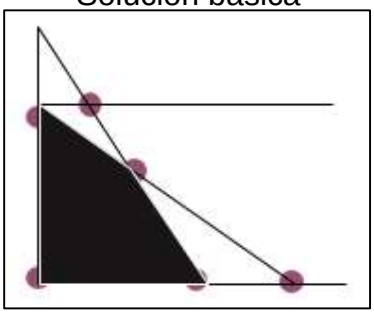


Figura 2.6. Recta o intercepción con los ejes coordenado.
Fuente: Ortega (2012)

Solución básica factible

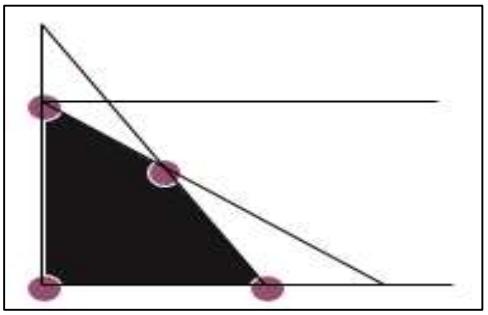


Figura 2.7. Gráfica de una solución básica región factible.
Fuente: Ortega (2012)

Método algebraico

El método algebraico es calificado por muchos como uno de los métodos más significativos en el campo de la programación lineal.

Lo interesante es que permita la solución de un problema de programación lineal cuando requiere de “n” variables y se trabaja con espacios n-dimensionales. (Díaz, 2011)

Los espacios vectoriales no tienen límite en cuanto al número de variables. Para efectos de representación del problema, se parte de los siguientes supuestos:

El número de incógnitas es **“n”**

El número de restricciones es **“m”**

Por lo anterior, la función objetivo se representa de la siguiente forma:

$$Z=C1X1+C2X2+\ldots+CnXn$$

Dónde: C1, C2…, Cn son los coeficientes de las incógnitas y por lo tanto datos conocidos. Como se tienen m desigualdades es necesario agregar (m) variables de holgura, las cuales deben agregarse a la función objetivo. (Díaz, 2011)

A continuación un breve ejemplo de planteamiento del problema:

Max U= 120 X1 + 100 X2

Dónde:

X1: Producir M1

X2: Producir M2

T; $2X1 + 1X2 \leq 90$

R; $1X1 + 2X2 \leq 80$

C; $1X1 + 1X2 \leq 50$

Restricciones de no negatividad

$X1 \geq 0$ $X2 \geq 0$

Método Simplex

Este método mayormente es utilizado para resolver cualquier problema de programación lineal.

Hasta ahora, la única forma que conocemos de resolver un problema de programación lineal, es el método gráfico. Este método es bastante engorroso cuando aumenta el número de restricciones e impracticable en más de dos dimensiones. Para Resolver estos problemas, se aplica el método simplex. Este método se puede aplicar a problemas de cualquier tamaño.

El Método Simplex es considerado como un conjunto de restricciones o procedimientos en la que permiten examinar los puntos en las esquinas de una manera metodológica has poder encontrar la solución óptima obteniendo como resultado un menor consto ya además generando una mayor utilidad. Por lo tanto en teoría, el método simplex resuelve un problema que contenga n variables y n restricciones, pero lo más recomendable en los caso de problemas que tienen más de tres variables o restricciones, es mejor que los cálculos sean hechos

en el computador a través de un software (WINQSB, SOLVER, LINDO, TORA, etc.). (Ortega, 2012)

Para poder comprender claramente la programación lineal, construir o formular las ecuaciones para desarrollar el programa y poder integrar sus resultados, es necesario realizarlo manualmente el Método Simplex. (Díaz, 2011).

Los pasos que comprende el Método simplex son:

Primero tenemos que formular el problema, luego se plantear la función objetiva, las restricciones y las condiciones de no negatividad.

Introducir variables de holgura (S) ó variables artificiales (A) en las restricciones:

Si la restricción es “menor o igual que” (≤) genera la inclusión de una variable de holgura (S) al lado izquierdo de la desigualdad, para convertirla en ecuación.

Si la restricción es “igual que” (=) genera la inclusión de una variable artificial (A) al lado izquierdo.

Si la restricción es “mayor o igual que” (≥) se debe restar una variable de holgura (S) y sumar una variable artificial (A) al lado izquierdo de la desigualdad, para convertirla en ecuación.

- Variables de Holgura (S): Una variable de holgura representa la calidad de recursos no utilizado u ocios. Se introducen las variables de holgura necesaria en cada

restricción; ya que estas convierten dichas restricciones en igualdades. (Ortega, 2012)

La función objetivo también muestra la sumatoria de variables de holgura, pero como esta no genera utilidad su coeficiente es “0”. (Ortega, 2012)

- Variables Artificiales (A): las variables artificiales don aquellas que almenas no tienen ningún significado en términos de programación lineal, que ayuda y permiten crear una solución factible básica para iniciar el algoritmo simplex. (Ortega, 2012)

Cada una de las variables artificiales tiene asignado un costo que se representa por M y sirve para fines de cálculo en la tabla inicial simplex. (Ortega, 2012)

Cuando se añade una variables artificial y la función objetivo se maximiza se agrega un valor “M” bastante pequeño (-M) y si se minimiza se agrega un valor “M” bastante grande (+M). (Ortega, 2012)

Una variable artificial no aparece en la solución final del problema. En la Fig N° 2.8 se muestra el formato que se utiliza para aplicar el método simplex, donde todos los coeficientes numéricos de la función objetivo y de las restricciones son ubicados en la tabla (Ortega, 2012).

Coeficientes y cantidades de la función objetivo y de las restricciones a la tabla inicial simplex.

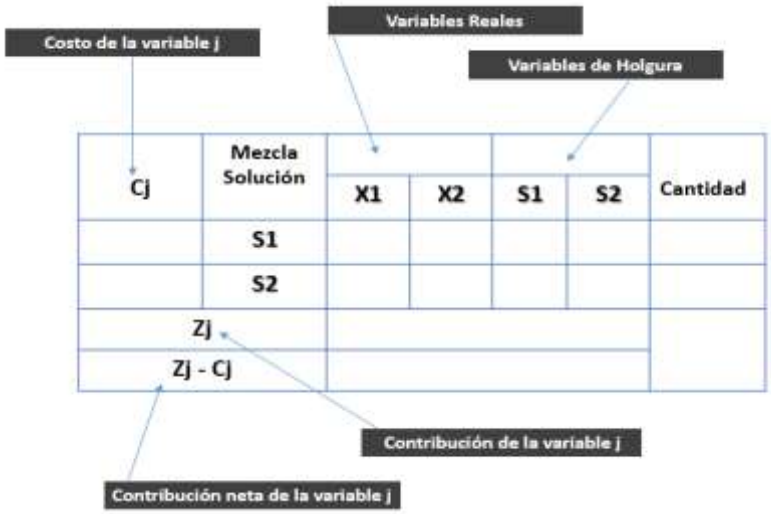


Figura 2.8. Formato de tabla simplex
Fuente: Ortega (2012)

Calculamos el costo al introducir la variable (Zj) y la contribución neta de la variable (Zj-Cj). Partiendo del cálculo de (Zj-Cj) se escoge entre las restricciones un punto de apoyo (Pivote) para lo cual se determina una columna pivote, eligiendo entre la columna de variables a aquella que tenga valor menor, si se trata de maximización y el mayor valor mayor si se trata de minimización. (Ortega, 2012)

Luego de establecer una fila pivote, dividiendo la columna y la cantidad de la columna y el pivote, tomado como muestra el menor valor positivo; la intercepción de ambas es el punto pivote. El punto Pivote por su ubicación indica que variable de holgura sale y que variables real entra. El Pivote, debe ser 1; si no es así tendrá que operarse ya sea multiplicando o dividiendo con la finalidad de obtener 1. Una vez que el punto Pivote es la unidad,

se convierte en ceros todos los elementos de su columna. (Ortega, 2012)

El método simplex es un método iterativo (repetitivo), han de repetirse los pasos hasta encontrar la solución óptima, es decir cuando se cumpla la condición:

Zj-Cj sea ceros o positivos para la maximización ò Zj-Cj sea ceros o negativos para la minimización. (Ortega, 2012)

Para mayo compresión del método simplex, realizaremos un ejemplo desde un planteamiento de minimización:

$$Z_{min} = 6X1 + 8X2 + 16X3$$

S.a.

$$2X1 + X2 \geq 5$$

$$X2 + 2X3 \geq 4$$

$$X1, X2, X3 \geq 0$$

Función Objetivo:

$$Z_{min} = 6X1 + 8X2 + 16X3$$

Restricciones:

$$2X1 + X2 + 0X3 = 5$$
$$0X1 + X2 + 2X3 = 4$$

Condición de no negatividad:

$$X1, X2, X3, \geq 0$$

No se cumple la condición, se debe repetir el proceso.

Cj	Mezcla Solución	6	8	16	0	0	M	M	Cantidad
		X1	X2	X3	S1	S2	A1	A2	
M	A1	2	1	0	-1	0	1	0	5
M	A2	0	1	2	0	-1	0	1	4
Zj		2M	2M	2M	-M	-M	M	M	9M
Zj - Cj		2M-6	2M-8	2M-16	-M	-M	0	0	

Calculo Zj:

X1= M(2) + M(0) = 2M S1= M(-1) + M(0) = -M A1= M(1) + M(0) = M
X2= M(1) + M(1) = 2M S2= M (0) + M(-1)= -M A2= M(0) + M(1) = M
X3= M(0) + M(2) = 2M
Costo = M(5) + M(4)= 9M

Calculo Zj-Cj

X1= 2M-6 S1=-M-0= -M A1= -M+M =0
X2= 2M-8 S2=-M-0= -M A2= -M+M =0
X3= 2M-16

Se expresan como una función lineal:
aM ± b
donde:
a= factor multiplicativo
M= valor numérico (muy grande)
b= factor aditivo

1.-Siempre que M está presente, se usa el mayor factor multiplicativo.
2.-Si existe empate entre los factores multiplicativos, se recurre al factor aditivo.

Figura 2.9. Tabla inicial simplex proceso 1
Fuente: Ortega (2012)

Método simplex no cumple con condición

PIVOTE

Menor valor positivo

Cj	Mezcla Solución	6	8	16	0	0	M	Cantidad	
		X1	X2	X3	S1	S2	A2		
6	X1	1	1/2	0	-1/2	0	0	2.5	
M	A2	0	1	2	0	-1	1	4	2
Zj		6	M+3	2M	-3	-M	M	4M+15	
Zj - Cj		0	M-5	2M-16	-3	-M	0		

¿Son todos los Zj-Cj ceros o negativos?
No se cumple la condición, se debe repetir el proceso.

El PIVOTE debe ser la unidad y todos los elementos de su columna ceros

Siempre que M está presente, se usa el mayor factor multiplicativo.

Figura 2.10. Tabla 2 simplex no cumple repite proceso 2
Fuente: Ortega (2012)

Se realizará varias tablas si es necesario hasta llegar a cumplir la condición que asegure que sí, se ha llegado a la solución óptima.

Método simplex en proceso

Menor valor positivo

PIVOTE

Cj	Mezcla Solución	6	8	16	0	0	
		X1	X2	X3	S1	S2	Cantidad
6	X1	1	1/2	0	-1/2	0	2.5
16	X3	0	1/2	1	0	-1/2	2
Zj		6	11	16	-3	-8	47
Zj - Cj		0	3	0	-3	-8	

1

¿Son todos los Zj-Cj ceros o negativos?

No se cumple la condición, se debe repetir el proceso.

El PIVOTE debe ser la unidad y todos los elementos de su columna ceros

Mayor valor

Figura 2.11. Tabla 3 simplex no cumple repite proceso 3
Fuente: Ortega (2012)

Resultado de la función objetivo

Cj	Mezcla Solución	6	8	16	0	0	
		X1	X2	X3	S1	S2	Cantidad
6	X1	1	0	-1	-1/2	1/2	0.5
8	X2	0	1	2	0	-1	4
Zj		6	8	10	-3	-5	35
Zj - Cj		0	0	-6	-3	-5	

Figura 2.12. Resultado final de función Objetivo
Fuente: Ortega (2012)

Z_{min} = 35
Y las restricciones del caso:
X1= 1/2
X2= 4
X3= 0

2.3.5. Modelo de Optimización de redes

a) Alcance y definición de modelos de redes

Muchas situaciones de investigación de operaciones pueden modelarse y resolverse como redes (nodos conectados por ramas).

Una red se compone de un conjunto de nodos unidos por arcos (o ramas). La notación para describir una red es (N, A), donde N es el conjunto de nodos, y A es el conjunto de arcos. La red se describe como: (Taha; Hamdy, 2012, p. 210)

$N = \{1,2,3,4,5\}$

$N = \{(1,2), (1,3), (2,3), (2,5), (3,4), (3,5), (4,2), (4,5)\}$

Asociado con cada red hay un flujo (por ejemplo, los productos de petróleo fluyen por un oleoducto y el tráfico de automóviles fluye por las carreteras). El flujo máximo en una red puede ser finito o infinito, según la capacidad de sus arcos. Se dice que un arco está dirigido u orientado si permite el flujo positivo sólo en una dirección. Una red dirigida tiene todos los arcos dirigidos. (Taha; Hamdy, 2012, p. 210)

Una ruta es un conjunto de arcos que unen dos nodos distintos, y que pasan a través de otros nodos en la red. Por ejemplo, en la fig.2.13 los arcos (1,2), (2,3), (3,4) y (4,5) forman una ruta entre los nodos 1 y 5. Una ruta forma un ciclo o un bucle si conecta un nodo de vuelta a sí mismo a través de otros nodos. En la Fig.2.13, los arcos (2,3), (3,4) y (4,2) forman un ciclo. Una

Red está conectada si cada dos nodos distintos están conectados en al menos una ruta (Taha; Hamdy, 2012, p. 210)

Modelo de transporte con nodos y arcos

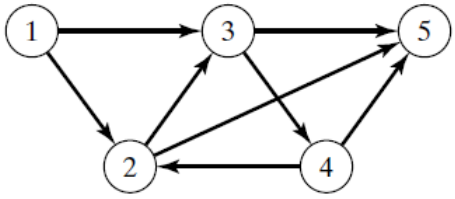


Figura 2.13. Representación del modelo de transporte
Fuente: Taha & Hamdy (2012).

Árbol y árbol de expansión

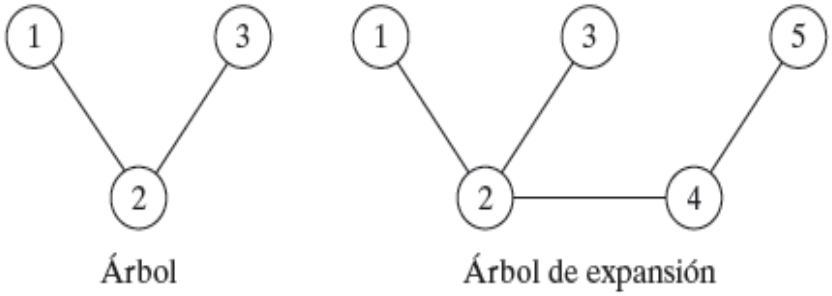


Figura 2.14. Representación de árbol y árbol de expansión
Fuente: Taha & Hamdy (2012).

b) Terminología de redes

Una red consiste en un conjunto de puntos y un conjunto de líneas que unen ciertos pares de puntos. Los puntos se llaman nodos (o vértices). Las líneas se llaman arcos (o ligaduras, aristas o ramas). Los arcos se etiquetan al dar en el nombre de los nodos en sus puntos terminales. (Hillier, Fredereick, Lieberman, & Gerald, 2010, p. 333)

Los arcos de una red pueden tener un flujo de algún tipo que pasen por ellos, además se dice que es un arco dirigido. La dirección indica al agregar una cabeza de flechas al final de la línea que representa el arco. Cuando se etiqueta un arco dirigido con el nombre de los nodos que unen, siempre se pone primero el nodo de donde viene y después e nodo hacia dónde va, esto es, un arco dirigido del nodo A al nodo B, debe etiquetarse como *AB* y no como *BA,* Otra manera de etiquetarlo es *A→B.* (Hillier, Fredereick, Lieberman, & Gerald, 2010, p. 333)

Si el flujo a través de un arco se permite en ambas direcciones como una tubería que se puede usar para bombear fluido las ambas direcciones, se dice que el arco es un arco no dirigido. Para ayudar a dirigir entre los dos tipos de arcos, con frecuencia se hará referencia a los arcos no dirigidos con el sugestivo nombre de ligadura. (Hillier, Fredereick, Lieberman, & Gerald, 2010, p. 333)

Tabla 2.1:
Componentes de redes Representativas

Nodos	Arcos	Flujo
Cruceros	Camines	Vehículos
Aeropuerto	Líneas de áreas	Aviones
Puntos de Conmutación	Cables, canales Tuberías	Mensajes Fluidos
Estaciones de Bombeo	Rutas de Manejo de materiales	Trabajos
Centros de Trabajo		

Nota: Los nodos se representan con círculos, los arcos con líneas y el flujo es la dirección hacia dónde se dirige.

C) Problema de la ruta más corta según definición de redes.

Es la esencia del procedimiento que analiza toda la red desde el origen; identifica de manera sucesiva la ruta más corta a cada uno de los Nodos en orden ascendente de sus distancias, desde origen; el problema queda resuelto en el momento de llegar al nodo destino. (Hillier, Fredereick, Lieberman, & Gerald, 2010, p. 336)

Algoritmo de la ruta más corta

1. Objetivo de la n-ésima iteración:

   Encontrar el n-ésimo nodo más cercano al origen. (Este paso se repetirá para n= 1,2,… Hasta que el n-ésimo nodo más cerno sea el nodo destino).
2. Datos de la n-esima iteración:
   N - 1 nodos más cercanos al origen, que se encontró en las iteraciones previas, incluida su ruta más corta y la distancia dese el origen. (Estos nodos y origen se llaman nodos resueltos; el resto son nodos no resueltos).
3. Cantidades para n-ésima, para nodos más cercanos:

   Todos los nodos que tienen un enlace con uno o más nodos no resueltos generan una opción o candidato, sería el caso del nodo no resuelto que tiene un enlace más próximo o más corto, si surge un empate se generaría más candidatos adicionales.

4. Calculo de N-ésimo nodo más corto.
   Para cada nodo resuelto y sus candidatos, se sumaría la distancia en ellos (cada enlace), para poder encontrar la

distancia más corta. Desde el nodo de origen hasta el nodo final. Seleccionaríamos los nodos que tuvieron la menor suma, puesto que esto refleja que serían los candidatos necesarios para la ruta más corta entre sus distancias.

Esquema de red Seervada Parkδα

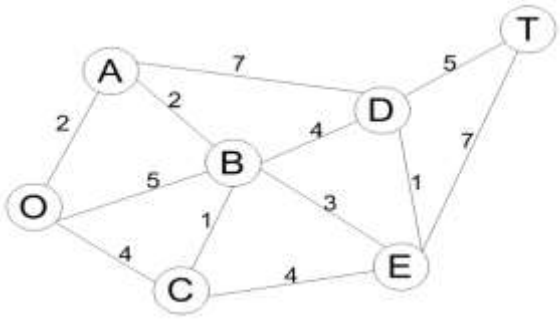


Figura 2.15. Problema de ruta más corta de Seervada Park
Fuente: Hillier, Fredereick, Lieberman & Gerad (2010).

Tabla 2.2
Aplicación de algoritmo ruta más corta de Seervada Park.

N	Nodos resueltos, conectados directamente a nodos no resueltos	Nodos no resueltos más cercanos conectados	Distancia total involucrada	n-ésimo nodo más cercano	Distancia mínima	Última conexión
	O	A	2	A	2	OA
1						
2, 3	O	C	4	C	4	OC
	A	B	2+2=4	B	4	AB
4	A	D	2+7=9	E	7	BE
	B	E	4+3=7			
	C	E	4+4=8			
5	A	D	2+7=9	D	8	BD
	B	D	4+4=8	D	8	ED
	E	D	7+1=8			
6	D	T	8+5=13	T	13	DT
	E	T	7+7=14			
		T				

Nota: Aplicación de este algoritmo al problema de la ruta más corta se Seervada park

Según la tabla 2.2 La 1° columna (n) indica el número de la interacción.
La 2° columna nos detalla una información de una lista de nodos resueltos para comenzar la iteración actual, después de haber quitado los nodos que no nos servirían puesto que no tienen un enlace o conexión directa con los nodos no resueltos.

La 3° columna nos indica los candidatos o nodos seleccionados para el n-ésimo nodo más cercano (nodos no resueltos con la conexión más corta al nodo final)
La 4° columna indica las distancias más cortas que sería desde el primero nodo o punto inicial al nodo resuelto o punto final.

La 5° columna indica el candidato con la suma más corta entre todos los resultados obtenidos en la cuarta columna. Por tal motivo el resumen de todo el procedimiento y resultado estaría dado en las dos últimas columnas, puesto que nos detalla la ruta más conveniente (ruta más cota), desde el nodo inicial u origen pasando por conexiones con diferentes nodos hasta llegar al nodo final o destino.

La ruta más corta desde el nodo destino hasta el origen se puede rastrear hacia atrás en la última columna de la Tabla 1.4.3.1., con lo que se obtiene $T \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow O$ o bien $T \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow O$. Por lo tanto se identificación que las dos opciones de ruta más corta desde el origen hasta el destino, con una distancia total de 13 millas en cualquiera de los dos.

2.3.6. Problema del agente viajero

El problema del agente viajero o TSP por sus siglas en inglés (Travelling Salesmen Problem) es uno de los problemas más famosos y complejos de las ciencias computacionales y ha sido abordado por varias ramas de la ingeniería y por distintas razones, su principal aplicación es la de rutear desde distintas perspectivas, ya sea un proceso que lleva una secuencia específica o una distribución de carácter logístico en la que intervienen elementos del transporte, buscando la mejor ruta posible con criterios de economía en distancia o en costo. Proveer soluciones contribuye a mejorar tareas y procesos en distintos ámbitos, Científicos e industriales, proponiendo alternativas para el mejor uso de los recursos. Disciplinas que abordan este tema son la investigación de operaciones y las ciencias informáticas como algoritmia y teoría de grafos. (López B. S., 2012)

El problema del agente viajero tiene una variación importante, y esta depende de que las distancias entre un nodo y otro sean simétricas o no, es decir, que la distancia entre A y B sea igual a la distancia entre B y A, puesto que en la práctica es muy poco probable que así sea. La cantidad de rutas posibles en una red está determinada por la ecuación:

$$(n-1)!$$

Por ello podemos determinar que la probabilidad de rutas sea igual que la cantidad nodos de una red, si en una red tenemos 5 nodos podemos decir que muy probable las rutas sean 5 (5-1)=24, y esto aumenta factorial mente es decir si aumenta un nodo más automáticamente aumenta otra ruta. En el caso de que el

problema sea simétrico la cantidad de rutas posibles se reduce a la mitad, es decir:

$$((n-1)!) / 2$$

Un problema es una base de la mayoría de los problemas de distribución física de bienes es el problema del agente viajero (TSP por sus siglas en inglés). (Sánchez, 2007).

a) Modelo TSP Matemático

El TSP se describe como sigue: Un agente viajero quiere programar visitas a sus clientes según fig. 2.16, pero que le permita minimizar, en la cual él quiere minimizar costos y sobre todo tiempo, Así, se encuentra en el problema de determinar una ruta que minimice la distancia total (o bien tiempo o costo) necesaria para visitar todas las ciudades en su zona de sus clientes.

El T.S.P. sería equivalente a encontrar el ciclo Hamiltoniano de costo mínimo: A través del siguiente ejemplo de un depósito se debe recorrer todos los vértices y regresar al depósito con la menor distancia total recorrida. (Sánchez, 2007)

Ubicación de los clientes a visitar

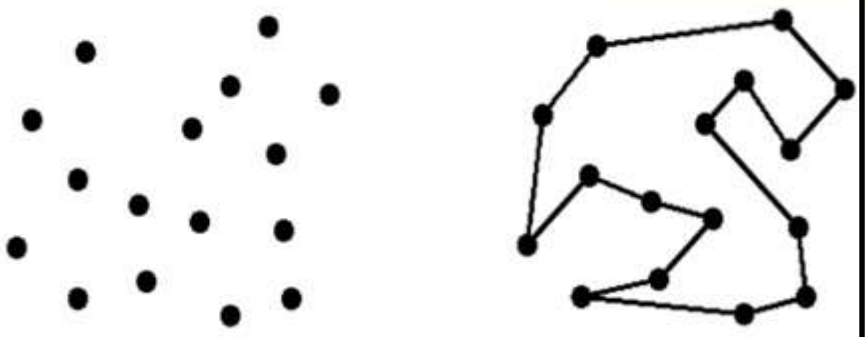


Figura 2.16. Ubicación de los clientes, sin y con diseño de ruta.
Fuente: Sánchez (2007)

b) Heurísticas para Resolver el TSP

Al alta dificultad para calcular el problema del agente viajero ha llamado la atención a múltiples iniciativas para mejorar la efectividad y la eficiencia en el cálculo de las rutas. La metodología más cansilla es conocida como método de la fuerza bruta, que te ayuda a calcular todos los posibles puntos de recorrido, lo cual hace que tu estudio sea extremadamente eficiente y que casi impide el desarrollo de redes con mayor magnitud. Por otro lado existen heurísticos que se han desarrollado por la complejidad en el cálculo de soluciones óptimas en redes robustas, es por ello que existen métodos como el vecino más cercano e Intercambio de aristas Or-opt. López (2012).

Método de Fuerza Bruta

Con el método de la fuerza Bruta no se imposibilita la aplicación de ningún algoritmo sistemático, consiste en averiguar todos los puntos a recorrer. Considerando la

siguiente red simétrica Fig. 2.17., los caminos posibles se reducen a la mitad: López (2012).

Ubicación de los lugares a visitar

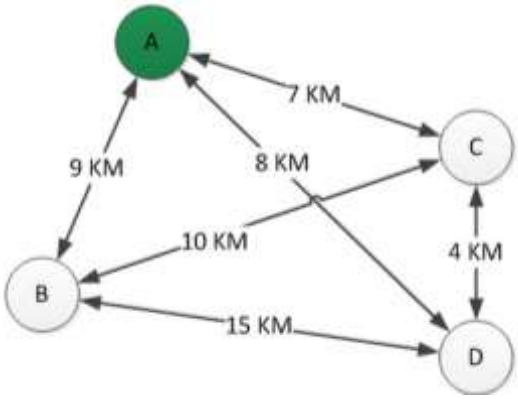


Figura 2.17. Distancia y ubicación de clientes a visitar
Fuente: López (2012)

Posibles rutas

A - B - D - C - A = 9 + 15 + 4 + 7 = 35 km

A - B - C - D - A = 9 + 10 + 4 + 8 = 31 km

A - C - B - D - A = 7 + 10 + 15 + 8 = 40 km

Rutas simétricas

A - D - C - B - A = 8 + 4 + 10 + 9 = 31 km

A - C - D - B - A = 7 + 4 + 15 + 9 = 35 km

A - D - B - C - A = 8 + 15 + 10 +7 = 40 km

Heurística del vecino más cercano

El método del vecino más cercano es un algoritmo heurístico diseñado para solucionar el problema del agente viajero, no asegura una solución óptima, sin embargo suele proporcionar buenas soluciones, y tiene un tiempo de cálculo muy eficiente. López (2012).

Para el desarrollo de este método tenemos que tener en cuenta que se va construyendo el tour secuencialmente, a partir del depósito, eligiendo en cada paso como el nodo siguiente al nodo más cercano al nodo actual.

Por último se encuentran los algoritmos que proporcionan soluciones óptimas, como el método de branch and bound (ramificación y poda), que trabaja el problema como un algoritmo de asignación y lo resuelve por medio del método simplex. Sánchez (2007).

A continuación identificaremos los pasos a seguir para el método del vecino más cercano:

Paso 1. Seleccionar un nodo inicial.

Paso 2. Identificar al nodo más cercano al último agregado, siempre que no haya sido agregado.

Paso 3. Repetir el paso 2 hasta incluir todos los nodos

Problema del Agente Viajero (Traveling Salesman Problem TSP):

Ejemplo 2:

Ubicación de los lugares a visitar

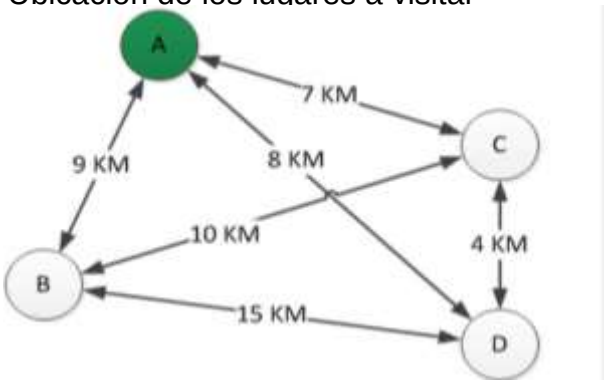


Figura 2.18. Ubicación y distancia de clientes a visitar
Fuente: Sánchez (2007)

El método consiste en una vez establecido el nodo de partida, evaluar y seleccionar su vecino más cercano. En este caso:

Vecinos de A	B	C	D
Distancia	9	7	8

En la siguiente iteración habrá que considerar los vecinos más cercanos al nodo C (se excluye A por ser el nodo de origen):

Vecinos de C	B	D
Distancia	10	4

En la siguiente iteración los vecinos más cercanos de D serán C, con quien ya tiene conexión, A quién es el nodo de origen y B, por esta razón B se debe seleccionar por descarte. Al estar en B todos los nodos se encuentran visitados, por lo que corresponde a cerrar la red uniendo el nodo B con el nodo A, así entonces la ruta solución por medio del vecino más próximo sería A, C, D, B, A = 7, 4, 15, 9 = 35 km.

Este es un caso en el que a pesar de tener una red compuesta por pocos nodos, el método del vecino más cercano no

proporciona la solución óptima, la cual calculamos con el método de fuerza bruta como 31 km.

Ejemplo 3:

Problema del agente viajero (Traveling Salesman Problem TSP)

datos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0	0	15	18	22	25	21	11	21	26	32	25	34	15	11	32	30	29	30	16	32	32	18	27	36	30	34
1	15	0	33	15	32	32	25	21	32	18	16	26	17	26	47	45	42	41	23	28	16	29	39	46	28	38
2	18	33	0	34	20	24	16	36	36	47	43	50	23	9	21	13	25	33	27	47	49	10	12	23	35	30
3	22	15	34	0	25	43	34	35	45	15	29	40	11	32	53	47	51	52	35	43	22	27	36	40	14	27
4	25	32	20	25	0	41	32	46	51	40	47	57	16	25	41	29	45	51	40	57	46	10	14	15	18	10
5	21	32	24	43	41	0	10	21	14	50	34	35	35	16	20	29	11	10	11	30	46	32	36	47	50	51
6	11	25	16	34	32	10	0	21	20	42	30	35	25	7	22	25	18	20	11	32	40	22	28	39	40	41
7	21	21	36	35	46	21	21	0	12	36	14	15	34	27	40	46	32	25	10	11	29	39	47	57	47	54
8	26	32	36	45	51	14	20	12	0	48	26	24	41	27	33	43	23	14	10	18	41	42	48	59	56	60
9	32	18	47	15	40	50	42	36	48	0	25	35	25	43	64	60	60	58	40	40	11	41	51	55	27	41
10	25	16	43	29	47	34	30	14	26	25	0	11	32	35	52	55	45	39	22	15	16	43	52	60	43	53
11	34	26	50	40	57	35	35	15	24	35	11	0	42	41	55	61	46	38	25	7	25	51	60	69	54	64
12	15	17	23	11	16	35	25	34	41	25	32	42	0	22	43	36	43	45	30	43	30	16	25	30	15	21
13	11	26	9	32	25	16	7	27	27	43	35	41	22	0	21	20	21	25	18	38	43	16	21	32	36	35
14	32	47	21	53	41	20	22	40	33	64	52	55	43	21	0	16	11	22	30	50	63	32	30	40	56	51
15	30	45	13	47	29	29	25	46	43	60	55	61	36	20	16	0	25	35	36	57	62	21	16	25	46	38
16	29	42	25	51	45	11	18	32	23	60	45	46	43	21	11	25	0	11	22	40	57	35	36	47	57	55
17	30	41	33	52	51	10	20	25	14	58	39	38	45	25	22	35	11	0	18	32	53	41	45	56	60	61
18	16	23	27	35	40	11	11	10	10	40	22	25	30	18	30	36	22	18	0	21	35	32	39	49	45	49
19	32	28	47	43	57	30	32	11	18	40	15	7	43	38	50	57	40	32	21	0	30	50	58	68	56	64
20	32	16	49	22	46	46	40	29	41	11	16	25	30	43	63	62	57	53	35	30	0	45	55	61	36	49
21	18	29	10	27	10	32	22	39	42	41	43	51	16	16	32	21	35	41	32	50	45	0	10	18	25	20
22	27	39	12	36	14	36	28	47	48	51	52	60	25	21	30	16	36	45	39	58	55	10	0	11	32	22
23	36	46	23	40	15	47	39	57	59	55	60	69	30	32	40	25	47	56	49	68	61	18	11	0	32	18
24	30	28	35	14	18	50	40	47	56	27	43	54	15	36	56	46	57	60	45	56	36	25	32	32	0	15
25	34	38	30	27	10	51	41	54	60	41	53	64	21	35	51	38	55	61	49	64	49	20	22	18	15	0

Figura 2.19. Ejemplo de problema de agente viajero
Fuente: Sánchez (2007)

Aplicaremos el primer paso del método Heurística del vecino más cercano, Seleccionar un nodo inicial:

Ubicación de los clientes a visitar

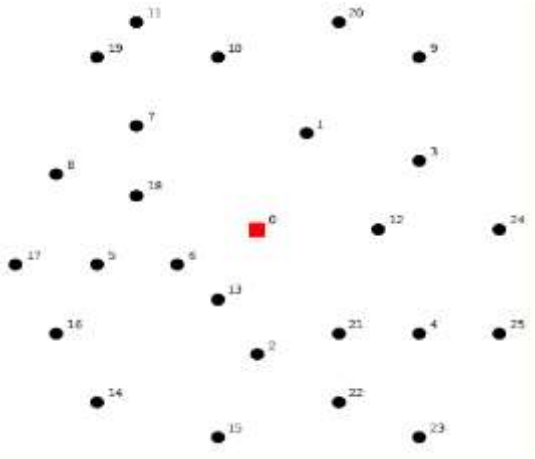


Figura 2.20. Puntos que indican la ubicación de los clientes
Fuente: Sánchez (2007)

Luego realizar el segundo paso del método heurístico, que consiste en identificar al nodo más cercano al último agregado, siempre que no haya sido agregado y finalmente como tercer paso repetir el paso 2 hasta incluir todos los nodos:

Ubicación de los clientes a visitar con primera trazada

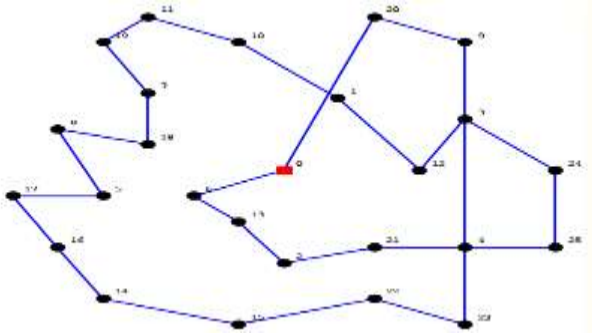


Figura 2.21. Solución de método heurística, vecino más cercano
Fuente: Sánchez (2007)

Solución por la heurística del vecino más cercano: costo total = 369.7

TOUR obtenido: 0, 6, 13, 2, 21, 4, 25, 24, 3, 12, 1, 10, 11, 19, 7, 18, 8, 5, 17, 16, 14, 15, 22, 23, 9, 20, 0

Ubicación de clientes a visitar con ajustes trazados

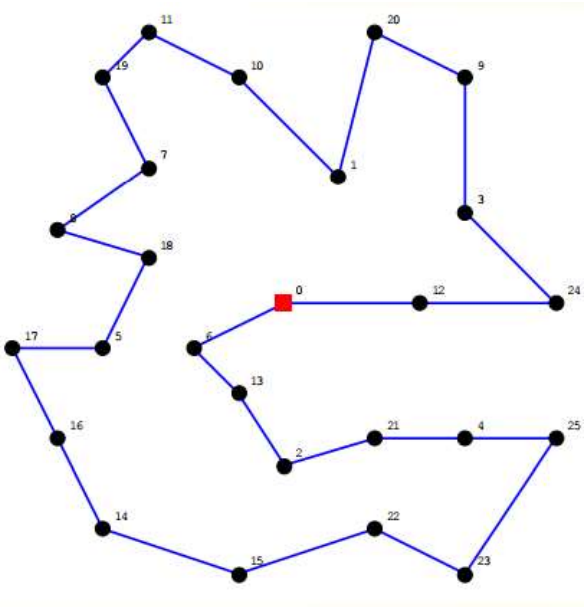


Figura 2.22. Solución heurística de vecino más cercano
Fuente: Sánchez (2007)

Solución obtenida con una meta-heurística: costo total = 316.9

Heurísticas de Intercambio de Aristas

La efectividad de esta heurística está determinada por que permite disminuir la formación de “cruces” entre aristas en el tour. Sánchez (2007)

Heurística 2-opt: Una ruta es mejorada borrando dos arcos, dando la “vuelta” a uno de los caminos resultantes y

luego reconectándolos hasta que no pueda obtenerse ninguna mejora adicional.

Heurística 3-opt: similar a 2-opt pero con 3 aristas

Antes y después de la ubicación de los lugares

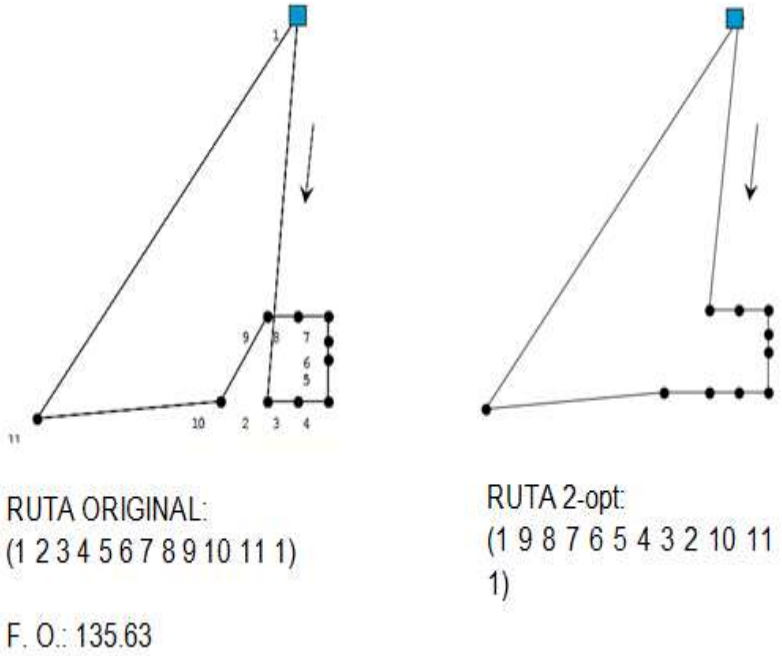


Figura 2.23. Solución ajustada con el método heurística 2 optima.
Fuente: Sánchez (2007)

c) El Problema de ruteo de vehículos

El VRP (Vehicle Routing Problem) es el m-TSP en el cual está asociado a una demanda para cada destino o ciudad, cada vehículo tiene una capacidad determinada pero cuando se desconoce se tiene que se determina con una solución del problema. El Problema de Rutas de Vehículos o VRP puede ser descrito de la forma siguiente: Considérese un conjunto

de puntos {2, 3, ..., n} en la que hay que atender una determinada demanda de mercadería q (i), i = 2, ..., n, desde un origen “1”. Para cumplir con esta demanda requerida se dispone de una flota de vehículos de capacidad Q. Se comienza a diseñar una serie de rutas, distancias total mínima de tal forma que cada ruta termine en el inicio (Punto 1), la carga que en cada momento ha de llevar cada vehículo no debe de superar su capacidad; cada punto i, i = 2, ..., n, ha de ser visitado exactamente una vez. Sánchez (2007).

Antes y después de ubicación de lugares a visitar

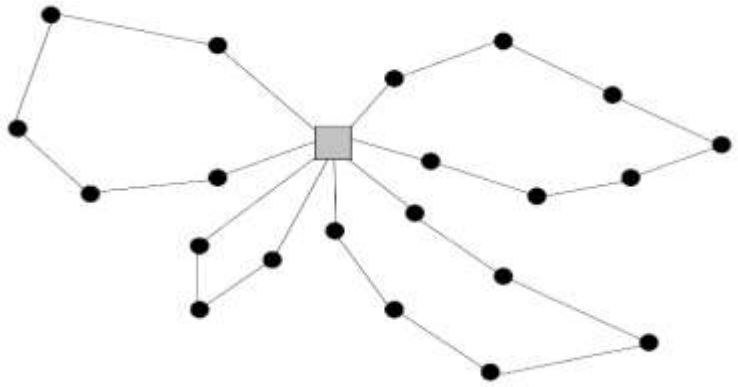


Figura 2.24. Solución para VRP depósito de 4 rutas.

Fuente: Sánchez (2007)

2.4. Definición de la terminología

a) Algoritmo

Es un conjunto de reglas que permiten obtener un resultado determinado a partir de ciertas reglas definidas.

b) Basura

Residuos desechados y otros desperdicios.

c) Ciclo

Es la cadena que une un nodo consigo mismo

d) Compactadoras.

Máquina utilizada en obras públicas, destinada a aglomerar y comprimir uniformemente el material recogido.

e) Eficiencia.

Según la Real Academia Española indica que la eficiencia es "virtud y facultad para lograr un efecto determinado", utilizando los recursos disponibles de manera racional para lograr el objetivo

f) Investigación de operaciones

Matemáticamente que es parte del estudio y despliegue de métodos científicos para usar eficazmente los recursos. Tales métodos comprenden modelos matemáticos y estadísticos, además de algoritmos para tomar decisiones en problemas relaciones con la planificación, coordinación y ejecución de operaciones en las organizaciones.

g) Iteración

En programación, Iteración es la repetición de un proceso dentro de un programa de computadora. Puede usarse tanto como un término genérico (como sinónimo de repetición) así como para describir una forma específica de repetición con un estado mutable.

h) Optimización

En matemáticas e informática, método para determinar los valores de las variables que intervienen en un proceso o sistema para que el resultado sea el mejor posible.

i) Racionalizar:

Según la real academia española es Organizar la producción o el trabajo de manera que aumente los rendimientos o reduzca los costos con el mínimo esfuerzo.

j) Recursos:

Según la real academia española es un conjunto de elementos disponibles para resolver una necesidad o llevar a cabo una actividad.

k) Redes

Es un conjunto de puntos y líneas que unen ciertos pares de pares de punto. Los puntos se llaman Nodos o vértices. (Fredereick S. & Gerald J., 2010, P. 333)

l) Recolección:

Es la acción de tomar los residuos sólidos de sus sitios de almacenamiento ya sea de contenedores o de viviendas, para

depositarlos dentro de los equipos destinados y ser transferidos a sitios de tratamiento o disposición final.

m) Recolección Residuos sólidos

Acción de recoger residuos en viviendas, negocios, instalaciones comerciales e industriales, cargándolos en un vehículo de recogida.

n) Residuos sólidos

Según la Organización de Cooperación y Desarrollo (OCDE), se denomina Residuos sólidos a aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo que no has alcanzado un valor económico en el contexto en que son producidos.

o) Rutas

La palabra ruta proviene del francés route, que a su vez deriva del latín rupta. Se trata de un camino, carretera o vía que permite transitar desde un lugar hacia otro. En el mismo sentido, una ruta es la dirección que se toma para un propósito.

Sectorización

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y Diseño de Investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación según su finalidad es aplicativa, descriptiva, tecnológica, como finalidad primordial la resolución de problemas prácticos, además según su objetivo gnoseológico es correlacional ya que nos basamos en unos modelos heurísticos para ver lo más óptimo de una ruta resultando una investigación experimental porque existe relación entre optimización y eficiencia, siendo la variable eficiencia el efecto que debe suceder ante la optimización del servicio de limpieza.

3.1.2. Diseño de la investigación

El estudio es pre experimental, longitudinal panel con datos cualitativos y cuantitativos; debido a que existe relación entre las variables, permitiéndonos medir y hacer una comparación en el tiempo.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

La Población del estudio es el distrito de Chiclayo que está sectorizado en 32 zonas; con aproximadamente 60 577 viviendas y 272 597 habitantes.

3.2.2. Muestra

Nuestra muestra fue elegida por conveniencia, debido a ciertas limitaciones que se presentaron en el presente estudio de investigación; siendo elegidas las zonas 17 y 32 que pertenecen al segundo turno que consta de 16 zonas.

3.3. Hipótesis

La optimización de las rutas recolectoras de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo, mejora la eficiencia del servicio de limpieza; reduciendo alrededor de un 10% la distancia empleada para hacer todo el recorrido.

3.4. Variables

Variable Dependiente:

Eficiencia: Esta variable nos permitió medir los resultados de nuestro estudio con respecto al servicio de limpieza.

Variable Independiente:

Optimización: Esta variable es manipulable con respecto a la mejor utilización de los recursos para lograr mejorar el servicio de limpieza.

3.5. Operacionalización:

Tabla 3.1.
Definición operacional de las variables

Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores Ítems o respuestas	Técnicas de Recolección de datos	Instrumentos de Recolección de datos
Eficiencia del servicio	Eficiencia física	SALIDA(Producción atendida TN)/ENTRADA (Capacidad de Compactadores TN)	Observación directa Entrevista	Guías de observación Cuestionario

Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores Ítems o respuestas	Técnicas de Recolección de datos	Instrumentos de Recolección de datos
Optimización de las rutas	Minimizar Tiempo, Km, Costo	Ruta de Zona (Km) / Tiempo (Hs)	Observación directa	Guías de observación
		Ruta de Zona (km)/ S/. Combustible	Observación directa	Guías de observación
		Ruta de Zonas Atendidas (Km) / S/ combustible	Observación directa	Guía de observación
	Maximizar los Recursos, Combustible.	Producción (Tn)*Día /Tiempo (Hs)	Entrevista Análisis documentario	Cuestionario Análisis de datos
		Zonas Atendidas (uní) / Tiempo (hs)	Análisis documentario Entrevista	Análisis de datos Cuestionario

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Métodos de investigación

Para realizar el proceso metodológico del presente estudio exploratorio, se llevó a cabo las siguientes actividades: La observación, consultas bibliográficas e investigación de campo.

Inicialmente se planificaron las actividades guiadas mediante los objetivos específicos, sujeta a una investigación previa, la cual se hizo mediante una búsqueda profunda de información en libros, revistas científicas, páginas de internet, bases de datos que guardaban mucha relación con el tema (INEI) y documento emitidos por instituciones públicas (área de desarrollo ambiental, Chiclayo limpio y ministerio de salud ambiental).

Además fue necesario realizar una investigación de campo, que consistió en entrevistarse directamente con el gerente de desarrollo ambiental y la institución de Chiclayo limpio para abordar temas de zonificación, diseños actuales de las rutas recolectoras, población por zona, producción de residuos sólidos por zona, entre otros datos.

A través de los datos obtenidos en el levantamiento de información bibliográfica y de campo, se pretende plantear una mejor ruta a través del método de Transporte Agente Viajero TSP para el turno de 9:00 pm hasta 3:00 am tomando como referencia las 16 zonas, demostrando a través de cuadros comparativos de distancias y tiempo lo actual con lo propuesto; finalmente se pretende implementar dos zonas en una prueba piloto

demostrando la eficiencia de la propuesta con respecto a la ya establecida.

3.6.2. Técnicas de recolección de datos

Observación directa:

La observación directa nos facilitó identificar los sentidos de calles para poder aplicar el método, identificar los puntos críticos o de sobreacumulación de montículos de basura por zona; facilitándonos a través de las visitas programas el recorrido de las zonas y rutas actuales, que iremos trazando con ayuda de planos impresos, un GPS

Entrevista:

La entrevista se realizó directamente al personal del área de desarrollo ambiental de MPCH; Ing José Calle Sampén Gerente de Desarrollo ambiental de la Municipalidad Provincial de Chiclayo.

Análisis documentario:

Información obtenida desde documentos emitidos por las instituciones públicas; biblioteca, datos estadísticos, censos, expedientes y diferentes puntos de opinión de ingenieros que desempeñan diferentes cargos con respecto a las áreas de residuos sólidos.

Fotografías:

Nos ayudó a evidenciar cada acontecimiento que se realiza desde la situación actual hasta la implementación de la misma.

3.6.3. Instrumentos de recolección de datos en la tabla de Operacionalización

Guías de Observación

Para la observación nos afianzamos de unas guía de observación que ayudo a realizar levantamiento de información, se trabajó con la el área de desarrollo ambiental y se realizó visitas programas a la institución de Chiclayo Limpio, para poder evidenciar la gestión de trabajo que se realiza actualmente y poder proponer las mejoras. (Anexo 2)

Cuestionario

Para dicha entrevista se realizó una serie de preguntas espontáneas con la finalidad de obtener información con criterio de opinión personal del entrevistado. (Anexo 1)

Análisis de datos

Para realizar en análisis de datos nos afianzamos de programa informático desarrollado y distribuido por Microsoft Corp como Excel y además de WINQSB, además para las consultas bibliográficas, es necesario contar con una computadora, una impresora, un USB y tener el acceso de la biblioteca de la USS y campus virtual.

Equipos Operativos

Los siguientes equipos nos ayudaron a identificar y controlar el recorrido de cada zona del distrito de Chiclayo.

Cámara
Cronómetro

GPS (APPS My Tracks)

3.7. Procedimiento para la recolección de datos

Para realizar el estudio del proyecto de tesis, fue necesario hacer una delimitación de la investigación, porque desde un inicio se pretendió demostrar que la hipótesis planteada se ajusta a la realidad de mejorar el servicio de recojo de basura domiciliaria en el distrito de Chiclayo.

Para ello a través de la observación y el levantamiento de información previamente hecho se solicitó la autorización para trabajar en la mejora de un turno que consta de 16 zonas, el cual nos permitió identificar los puntos críticos o lugares donde se genera los montículos de basura, el sentido de las calles y avenidas, calcular distancia y tiempo que les lleva realizar el recorrido.

Sin embargo para realizar los ajustes del diseño de ruta fue necesario contar con el apoyo de un supervisor o controlador que conozca las zonas del turno a trabajar, facilitándonos el conocimiento de los lugares que debemos obligatoriamente trazar dentro del recorrido a proponer.

Además cabe resaltar que la investigación de campo nos permitió tener una mayor ventaja en cuanto a la visualización de los problemas reales que día a día se da por motivos mecánicos, falta de personal, tiempos, combustibles, etc.

Para finalizar el proceso cabe mencionar, que las visitas programadas para salir a campo, se realizó con ayuda de GPS, cronometro, planos impresos, cámara fotográfica instrumentos

que nos permitió tener un mayor control de la información que luego se analizó y se procesó en el software WinQSB, para posteriormente realizar los ajustes necesarios a la realidad.

3.8. Análisis Estadístico e Interpretación de los datos

En nuestro estudio los datos se procesaron mediante un software WIN QSB que nos permitió introducir todas las distancias de cada zona; mediante una simulación permitirá analizar las diferentes alternativas para comprobar cuál es la ruta más óptima; además del programa informático desarrollado y distribuido por Microsoft Corp como Excel, Este análisis se llevara a campo para ver si es la más eficiente, se percibirá porque se tienen que eliminar los puntos críticos de cada zona ya que esta ruta será la más óptima, la más eficiente, mejorando el servicio de recolección de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo.

Además el estudio mostró lo actual y lo propuesto en diferentes indicadores como el costo diario para realizar el servicio de limpieza por zona el costo por turno ya demás el ahorro, diario, mensual y anual, mediante tiempos, distancias, la eficiencia, de la ruta actual con la ruta con la ruta propuesta.

3.9. Principios éticos

El ámbito del ingeniero industrial tiene sus criterios éticos así como en nuestro estudio de optimización de rutas de recolección de residuos sólidos está relacionada directamente con la investigación de operaciones donde se emplea métodos y para lograrlo se tiene que tener en cuenta tres componentes principales: las alternativas, criterios objetivo y restricciones, las

situaciones difieren por los detalles de la construcción de cada componente y la solución del modelo resultante.

Utilizando los algoritmos disponibles. Por otra parte, si las relaciones matemáticas son demasiado complejas como para permitir la determinación de una solución analítica, el equipo de IO puede optar por simplificar el modelo y utilizar un método heurístico, o bien considerar la simulación, si es lo apropiado. En algunos casos, una simulación matemática puede combinarse con modelos heurísticos para resolver el problema de decisión

Los criterios éticos que utiliza son:

1. Desarrollo Sostenible.
2. Protección del Público.
3. Agentes Fieles de Clientes y Patrones
4. Competencias y Conocimientos
5. Imparcialidad e Integridad en el Lugar de Trabajo.
6. Responsabilidad Profesional y Liderazgo

3.10. Criterios de rigor científico

La validez de nuestra investigación será por intermedio de la comprobación del modelo matemático, Agente Viajero TSP; el modelo comprueba si el modelo propuesto hace en realidad lo que dice que hace, es decir, ¿predice adecuadamente el comportamiento del sistema que se estudia?; ¿tiene sentido la solución? ¿Los resultados sin intuitivamente aceptables? Del lado formal, un método común de comprobar la validez de un modelo es comparar su resultado con resultados históricos.

Modelo se basa en el examen cuidadoso de datos pasados, por lo tanto la comparación propuesta casi siempre es favorable. Si el modelo propuesto representara un sistema nuevo (inexistente), no habría datos históricos disponibles. En esos casos podemos utilizar la simulación como una herramienta independiente para comprobar el resultado del modelo matemático.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados en tablas y gráficos.

Tabla 4.1.
Indicadores actuales zona 17

Zona 17	Producción	Velocidad Constante (KM/H)	Distancia Actual (KM)	Costo Actual S/.	Tiempo Actual (hr)
Planta - Zona	0	20	1.38	S/. 0.89	0.069
Zona 17	3650	7	22.16	S/. 14.25	3.166
Zona - Reque	0	20	25.8	S/. 16.59	1.290
Reque - Planta	0	20	26.35	S/. 16.94	1.318
Total	**3650**		**75.69**	**S/. 48.66**	**5.84**

Fuente: Autores

La tabla 4.1 se detalla los datos actuales en relación a la Zona 17 como resultado obtuvimos que la ruta actual consta de 75.69 km, mientras que en relación al costo que implica para brindar servicio a esta zona asciende a S/ 48.60 y lo realiza en un tiempo de 5.84 horas.

Con estos datos históricos podemos calcular la eficiencia actual del servicio de esta Zona, considerando los Siguientes parámetros:

Tabla 4.2.
Indicadores actuales zona 32.

Zona 32	Producción	Velocidad Constante (KM/H)	Distancia Actual (KM)	Costo Actual S/.		Tiempo Actual (hr)
Planta - Zona	0	20	2.30	S/.	1.48	0.115
Zona 32	3810	7	28.70	S/.	18.45	4.100
Zona - Reque	0	20	24.35	S/.	15.65	1.218
Reque - Planta	0	20	26.35	S/.	16.94	1.318
	3810		81.700	S/.	52.52	6.750

Fuente: Autores

La tabla 4.2 se detalla los datos actuales en relación a la Zona 32 como resultado obtuvimos que la ruta actual consta de 81.70 km km, mientras que en relación al costo que implica para brindar servicio a esta zona asciende a S/ 52.52 y lo realiza en un tiempo de 6.75 horas.

Eficiencia de la recolección

Capacidad de compactadores	Producción por Zona	
6.5	4.5	3.9
6.5	3.6	3.4
8	2.7	4.1
8	2	4.2
10	3.6	3.7
7.5	2.5	3
7.5	3.2	3.8
7.5	4	3.8
61.5	56	

$$Eficiencia\ Física = \frac{SALIDA\ (Producción\ total\ \ Zonas\ Tn)}{Entrada\ \ (Capacidad\ de\ CompactadorasTn)}$$

$$Eficiencia\ Física = \frac{56\ Tn}{61.50\ Tn} = 0.911$$

Esto nos indica que de 61.50 Tn que dispone las compactadoras para recolectar se aprovecha solo 56 Tn , quedado una capacidad de 5.5 Tn que o se utiliza.

Resultado de la entrevista

El resultado obtenido de la entrevista al gerente de Desarrollo ambiental Ing. José Calle Sampén, indicó que la institución Chiclayo Limpio ha dividido la ciudad en 32 Zonas y dos tunos.

El primer turno comprende de 11:30 am a 6:30 pm y el segundo turno de 9:00 pm a 3:00 am, actualmente no cuentan con rutas definidas que justifiquen operativamente el recojo de basura de cada zona, lo que tratan de hacer es dar frecuentemente el servicio de limpieza a las zonas céntricas, generando en algunos casos que las zonas que se encuentran alejadas no reciban este beneficio algunos días.

Las inspecciones y monitoreo se realizan mediante la visualización directa en camioneta y/o solicitando vía telefónica la ubicación de la compactadora que se encuentra en servicio. El área de desarrollo ambiental cuenta con 16 compactadoras, 8 obsoletas y 8 compactadoras se encuentran operativas; estas son distribuidas según la disponibilidad y funcionamiento, en cada compactador sales tres personas para brindar el servicio limpieza; el Chofer, y 2 ayudantes, pero en planilla tenemos 60 choferes y 160 ayudantes. Cada unidad es abastecida con 5, 6,7 y/o 8 galones de petróleo, siendo nuestro proveedor Petroperú

Resultados de las Guías de Observación

La información recopilada por las guías de observación, fueron indispensable para poner en práctica el modelo matemático del agente Viajero, y mejorar las propuestas generadas teóricamente por la institución de Chiclayo Limpio.

Además los resultados de las guías de observación nos permitieron contrastar una propuesta teórica con la realidad, identificando las carencias, dificultades y la información a tener en cuenta para adaptarlo a un modelo matemático que nos permitió lograr la optimización del servicio de limpieza.

Equipos de tecnología y APPS

La facilidad para acceder a la tecnología en la actualidad, nos permite tener una mejor ventaja ante estos problemas de transporte.

A través del programa AutoCAD, podremos tener mayor acceso a las limitaciones, calles, avenidas principales, distancias de la zona a estudiar.

Además para salir a campo requerimos básicamente de planos impresos, una aplicación android My Tracks, cronómetro y herramientas que nos fueron útiles para mantener bajo control el estudio de zona a analizar.

4.1.1. Sectorización de las Zonas.

Actualmente el servicio de limpieza del distrito de Chiclayo cuenta con 32 zonas divididas en dos turnos de 9:00pm a 3:00am atienden a 16 zonas y de 11:30 am a 6:30pm atendiendo a las 16

zonas restantes; además cabe mencionar que hasta el año 2014 el distrito fue sectorizado de manera proporcional a su tamaño geográfico, método de trabajo que se propuso mejorar a fines del mismo año por la institución de Chiclayo Limpio, cuya propuesta de sectorización se basaría en la cantidad de toneladas de basura que se genera por día en cada zona como se evidencia en el registro de la tabla 4.3

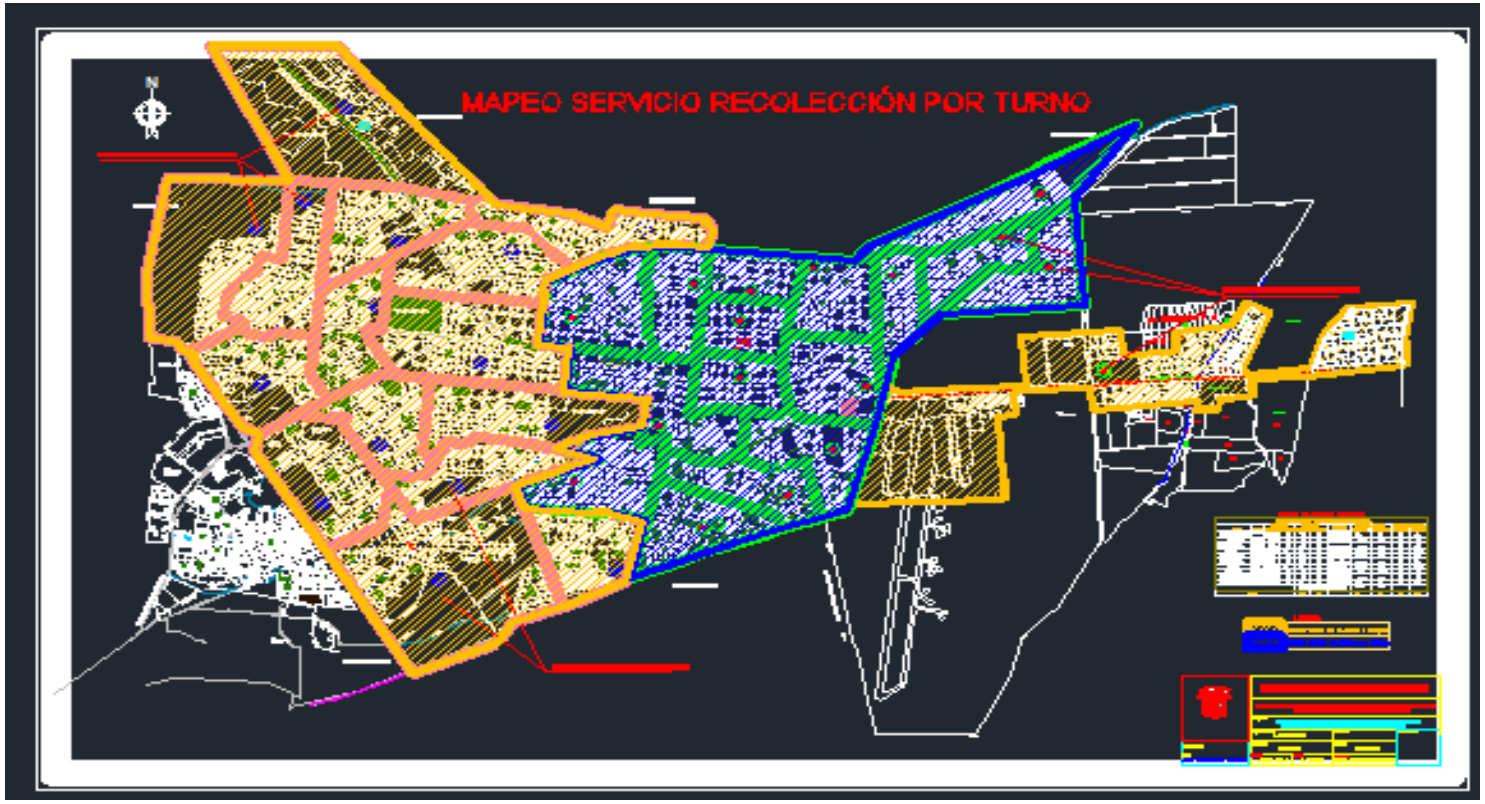
Tabla 4.3.
Reporte promedio de basura diaria por zona turno noche

ZONAS	TOTAL MANZ.	TOTAL VIVIENDAS ESTIMADAS	POBLACION ESTIMADA 4.5 Hab./viv.	TOTAL RR. SS. (0.45KG/hab.)	TOTAL A RECOGER EN t/día
Z-06	104	2204	9917	4463	4.5
Z-17	51	1801	8104	3647	3.6
Z-18	24	1324	5958	2681	2.7
Z-19	32	1007	4530	2038	2.0
Z-20	45	1759	7916	3562	3.6
Z-21	37	1253	5638	2537	2.5
Z-22	52	1597	7187	3234	3.2
Z-23	76	1993	8967	4035	4.0
Z-24	70	1931	8691	3911	3.9
Z-25	58	1686	7588	3414	3.4
Z-26	58	2022	9099	4094	4.1
Z-27	76	2065	9294	4182	4.2
Z-29	60	1818	8180	3681	3.7
Z-30	70	1471	6619	2978	3.0
Z-31	66	1725	7763	3493	3.5
Z-32	40	1879	8456	3805	3.8

Fuente: Institución Chiclayo Limpio

Propuesta de Chiclayo Limpio consistió en unir partes de algunas zonas con la finalidad de justificar la cantidad de toneladas de basura por zona, finalmente la propuesta fue realizada en AutoCAD y aceptada por la Gerencia de Desarrollo Ambiental como se muestra en la Figura 4.1

Figura N° 4.1. Mapa General de sectorización de Zonas en el distrito de Chiclayo para el servicio de limpieza



Fuente: Autores

Ver ampliación en Anexos II, Figura 01

4.1.2. Distribución de Compactadoras por zona

Las compactadoras asignadas a este distrito son heterogénea, es decir todos los vehículos no cuentan con la misma capacidad, añadiendo que de las 15 compactadoras derivadas al servicio de limpieza, sólo se encuentran operativas o en funcionamiento 8; mencionando en la Tabla 4.2, su número y capacidad en toneladas de cada vehículo.

Tabla 4.4.

Lista y estado de maquinaria

Nº	TIPO	MARCA	AÑO	ESTADO
1	COMPACTADORA	MERC. BEN	1998	OPERATIVO
2	COMPACTADORA	MERC. BEN	1997	EN REPARACIÓN
3	COMPACTADORA	MERC. BEN	1997	OPERATIVO
4	COMPACTADORA	MERC. BEN	1998	EN REPARACIÓN
5	COMPACTADORA	MERC. BEN	1998	EN REPARACIÓN
12	COMPACTADORA	MERC. BEN	1987	EN REPARACIÓN
16	COMPACTADORA	VOLVO	1995	EN REPARACIÓN
17	COMPACTADORA	MERC. BEN	1997	OPERATIVO
18	COMPACTADORA	MERC. BEN	1997	EN REPARACIÓN
19	COMPACTADORA	MERC. BEN	1996	OPERATIVO
20	COMPACTADORA	INTERNACIONAL	1983	OPERATIVO
21	COMPACTADORA	MERC. BEN	2007	EN REPARACIÓN
22	COMPACTADORA	MERC. BEN	2007	SINIESTRADO
23	COMPACTADORA	MERC. BEN	2007	OPERATIVO
24	COMPACTADORA	MERC. BEN	2007	EN REPARACIÓN
25	COMPACTADORA	MERC. BEN	2007	OPERATIVO
26	COMPACTADORA	MERC. BEN	2007	OPERATIVO

Fuente: Área de desarrollo ambiental MPCH, 2015

Actualmente cada compactadora brinda el servicio de recojo de basura a dos zonas geográficamente cercanas, cuyos vehículos cuentan con una capacidad de almacenamiento variable, obligando a los trabajadores realizar el servicio de recojo de residuos sólidos hasta alcanzar la máxima capacidad de compactación del vehículo, para luego ir hasta el botadero de la ciudad ubicado en Reque y regresar a la zona para continuar con el servicio de limpieza; en la Tabla N° 4.5 identificamos la capacidad en toneladas de cada compactador y distribución actual de las compactadoras por zona.

Tabla 4.5.

Asignación actual de compactadoras por zonas

N° COMP	CAP. COMP. (TN)	GALONES/DIA	COSTO DE COMBUSTIBLES/ 9.00 GALON		ZONAS	PROD. RS/DÍA
1	6.5	5	S/.	45.00	17 6	3.6 4.5
3	6.5	5	S/.	45.00	22 32	3.2 3.8
17	8	6	S/.	54.00	21 18	2.5 2.7
19	8	6	S/.	54.00	24 26	3.9 4.1
20	10	8	S/.	72.00	19 20	2.0 3.6
23	7.5	7	S/.	63.00	25 27	3.4 4.2
25	7.5	7	S/.	63.00	23 29	4.0 3.7
26	7.5	7	S/.	63.00	30 31	3.0 3.8

Fuente: Área de desarrollo ambiental MPCH, 2015

Distribución gráfica actual de compactadoras en MPCH

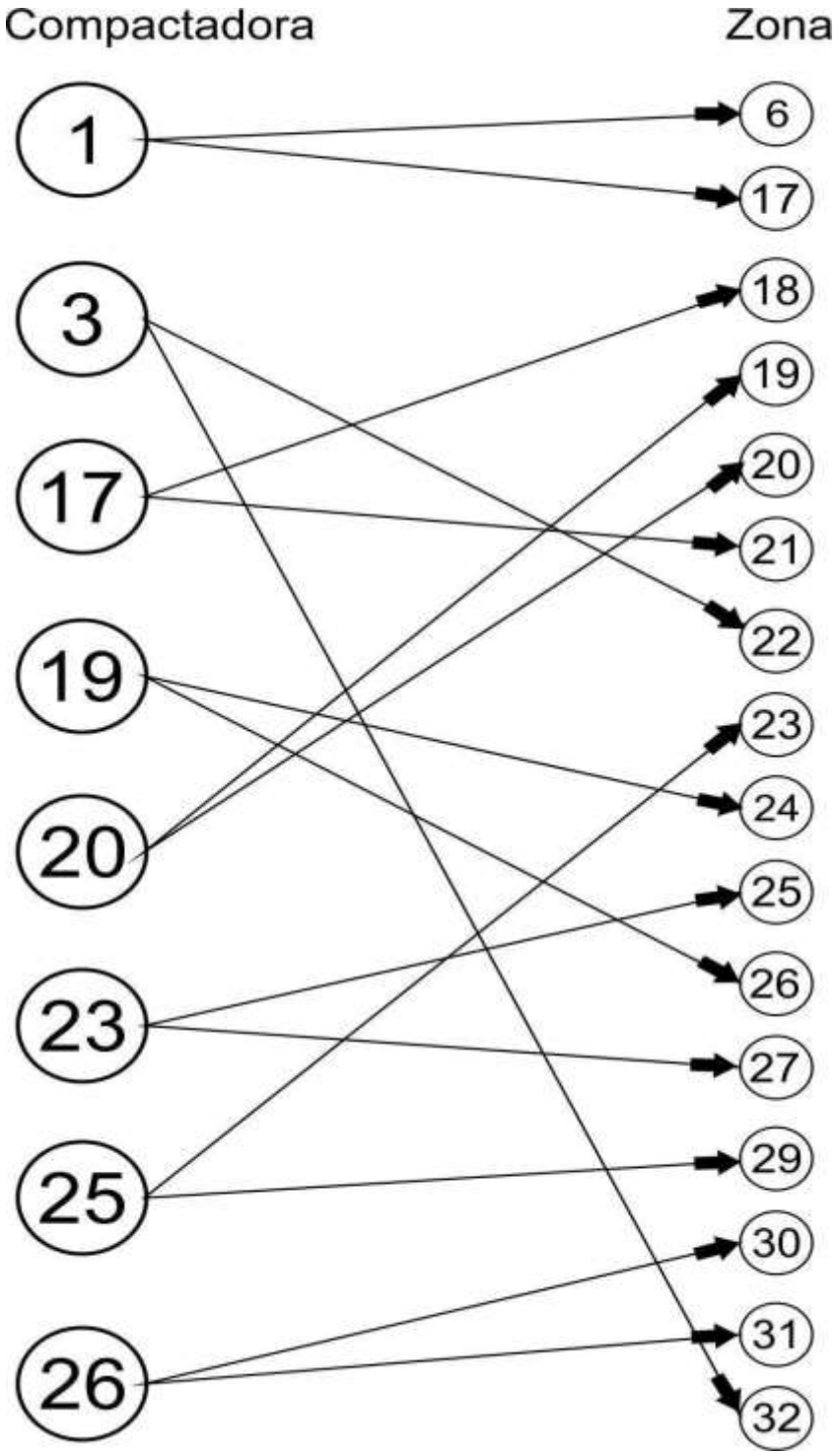


Figura 4.2. Distribución actual de compactadoras por zona en el Distrito de Chiclayo

Fuente: Autores

4.1.3. Diseño de Rutas Recolectoras de Residuos Sólidos

El trabajo actual del servicio de recojo de residuos sólidos en el distrito de Chiclayo, no cuenta con un ruta definida o un diseño de ruta realizada a través de un modelo matemático; motivo por el cual carecen de un control y uso eficiente de sus recursos, como el combustible.

A pesar de las limitaciones de la falta de planeación, el servicio de limpieza ha seguido funcionando todos los días, obligando a los supervisores en sus decisiones a priorizar la limpieza frecuente sólo en las zonas céntricas, dejando de brindar estos beneficios a las zonas de los alrededores del distrito de Chiclayo.

4.2. Discusión de resultados.

Esta investigación tuvo como propósito mejorar la eficiencia del servicio de limpieza y minimización de la distancia, tiempo, costo, y la maximización de los recursos como el combustible empleado para realizar todo el recorrido de las diferentes rutas. Además, para ello se propuso realizar dos pruebas piloto con la zona céntrica 32 y una zona de los alrededores 17; de tal manera que con los antecedentes teóricos podríamos basarnos en afirmar positivamente que lograríamos reducir alrededor de un 10% las distancias para realizar el servicio de limpieza.

Los resultados obtenidos son muy buenos puesto que logramos reducir en la zona 17 en 17.40% y en la zona 32 en 15.73%, cuya información claramente deduce que el haber reducido más del 10% distancia total de cada viaje por zona diariamente nos ahorra mucho en temas de costo que se generaba por el combustible,

recurso que era una de las carencia que siempre se mencionaba como escudo para justificar la ineficiencia del servicio de limpieza.

Según Valdivia (2013) la solución propuesta que desarrolla para la optimización de rutas en dos partes, donde analizan los ingresos y egresos monetarios del proyecto, además de la rentabilidad económica en un horizonte de 10 años. Como resultado, el proyecto obtiene un VPN de más de 2 millones de soles y una TIR de 75.1%.

Mientras que en nuestra investigación hemos logrado una rentabilidad de S/.5,238.63 en 2 zonas anual se continua implementado las 30 zonas restante se tendría un ahorro de promedio de S/. S/. 83,818.16 anual en 10 años se lograría obtener alrededor S/. 838,765.87 de ahorro en promedio.

Según López, Salas y Murillo (2014). En su proyecto el problema del agente viajero: un algoritmo determinístico usando búsqueda tabú. El propósito del presente trabajo es encontrar soluciones óptimas al problema del agente viajero usando un algoritmo determinístico basado en la técnica Búsqueda Tabú (BT). Para esto, se consideran tres modelos reales, dos para el Agente de la Salud (AS) y otro para el Asesor de Matemáticas (AM), cuyas coordenadas se determinaron con un dispositivo GPS MAP Garmin 60CX, los resultados obtenidos fueron en AM se obtuvo una ahorro de 333.5 Km en 0.452 Segundos representando una optimización de 52.49%, en el agente de salud (AS) obtuvimos 2 resultados; la primera instancia obtuvimos un ahorro de 69.63 km en 2.599 segundos representando una optimización de 22.98 %,

la segunda instancia basado en la longitud de tabu obtuvimos una ahorro de 588.59 km en 5.103 segundos, representando una optimización en kilometraje de 65.74 %.

Concluimos que se ha comprobado, lo que en la literatura se ha señalado sobre la búsqueda tabú, en donde se menciona que las metaheurísticas pueden encontrar en tiempo razonable, soluciones aproximadas a la óptima, para el problema del agente viajero. Mientras que nuestra investigación empleando modelos matemáticos uno de ellos el agente viajero se ha logrado reducir el tiempo de recolección un 24% en la zona 17 y 32, en los costos mejoraron un 13.99% y un 15.72%, si se logra seguir implementado las 30 Zonas restante, la proyección de ahorros en 5 años promedio sería S/. 419,320.45 con una variación de eficiencia de 15 %.

Según Oré (2012) con su modelo de Optimización de rutas en la distribución de productos de belleza demuestra que la aplicación de algoritmos en un caso real tal como las rutas de distribución de productos de belleza, para las zonas de San Juan de Miraflores y Villa María obteniendo resultados en la zona San Juan de Miraflores la reducción de la cantidad de kilómetros respecto a la ruta diseñada es considerable con la situación actual siendo la distancia actual de 26.25 Km. Comparado con la solución del algoritmo que es de 15.35 Km, es decir que se ahorra por campaña en kilómetros recorridos 10.90 y en dinero S/. 5.45, significa que al año por las 36 campañas se ahorraría S/ 196.20.

El Algoritmo de Inserción es interesante con relación a la aplicación ya que permite de manera instantánea la solución, en

nuestro caso solo aplica a una zona la del distrito de Villa María el Triunfo el cuál se logra ahorrar 10.13 km que en dinero es S/. 5.06 y por las 36 campañas sería S/. 182.16.

A comparación con nuestro estudio es más rentable porque tenemos una mayor porcentaje de reducción de Kilometraje, en La zona 17 se comprobó un Km actual 75.69 reduciendo a 65.51Km representando un 13.99% de reducción y un S/. S/.2,387.72 anual, mientras que la Zona 32 se comprobó una distancia de 81.70 Km reduciendo a 69.55Km representando un 15.72 % y un S/.2,850.91 de ahorro anual. Siendo un estudio más efectivo y con mayor resultados a comparación de (Oré, 2012).

Según Larumbe (2009), se presenta una aplicación de la Optimización de residuos sólidos en la zona sur de la ciudad de Buenos Aires combinatoria para optimizar el ruteo de vehículos en la Ciudad de Buenos Aires empleando el problema del Viajante de Comercio (Traveling Salesman Problema (TSP) siendo el modelo matemático que hemos empleando en nuestra investigación. En esta aplicación, vemos resultados muy interesantes: la distancia de los itinerarios se reduce hasta un 39% y el trabajo, que se calcula en cada tramo como el producto de la distancia recorrida por el peso transportado, también se redujo un 43 %, comparación de nuestra investigación es menos negociable porque se dedujo en un 13.99% y 15.72% aproximadamente, pero considero que influencia las calles a comparación de Colombia sus calles son menos accidentales, mientras que las calles de Chiclayo están en condiciones inseguras y menos pavimentadas.

4.2.1. Sectorización de zonas.

Una de las primeras limitaciones que se presentó en el campo, se debe a que nos permitieron acceder sólo a uno de los turnos del servicio de limpieza debido al tiempo y a la amplitud de la investigación, además cabe mencionar que la institución de Chiclayo Limpio habría iniciado una propuesta de sectorización y diseño de rutas desde gabinete para mejorar el servicio de recojo de residuos sólidos, propuesta que habría sido aceptada por la Gerencia de Desarrollo Ambiental, sin embargo al analizar juntamente con el supervisor de turno de la Sub gerencia de residuos sólidos, identificamos en campo que la propuesta hecha desde gabinete presentaba algunas deficiencias, que generarían confusión al chofer de las compactadoras, como por ejemplo obviar algunas calles no registradas en el mapa, realizar un recorrido en dirección contraria al tráfico de las avenidas, indicar en el recorrido pasar por calles que no coinciden con el nombre real de la calle o avenida; identificado dichos errores, planteamos a la Gerencia de desarrollo ambiental y a la Sub gerencia de residuos sólidos ajustar o reestructurar la propuesta dada por la institución de Chiclayo Limpio.

A pesar de la evidencia analizada en Campo, la gerencia de Desarrollo Ambiental opto por conservar la propuesta de división o sectorización de las zonas del distrito, sin embargo nos autorizó realizar una nueva propuesta de diseño de rutas para la recolección de residuos sólidos en el turno de 9:00 pm a 3:00 am.

4.2.2. Distribución de Compactadoras por zona

Cabe mencionar que la sub gerencia de residuos sólidos carece de un plan de distribución para derivar a cada compactador según su capacidad en tonelada y tamaño a la zona correspondiente.

Tabla 4.6.

Demanda de basura año 2014

Item	Meses	N° viajes	Basura (M3)
1	Enero	759	9990
2	Febrero	759	9990
3	Marzo	1061	10675
4	Abril	1131	10673
5	Mayo	952	11503
6	Junio	963	9024
7	Julio	1676	7863
8	Agosto	1676	7791
9	Septiembre	703	9016
10	Octubre	468	5530
11	Noviembre	465	5605
12	Diciembre	494	5880
	TOTAL	11107	103540

Fuente: Área de desarrollo ambiental MPCH, 2015

La capacidad de toneladas durante el año 2014 se obtuvo 103.540 Toneladas durante 11107 viajes.

4.2.3. Diseño de Rutas Recolectoras de Residuos Sólidos

Sin embargo, cabe mencionar que el problema de la carencia de planeación o diseño de la ruta para recolectar los residuos sólidos, no serían las únicas complicaciones en el presente trabajo de investigación, puesto que el método matemático Agente Viajero (TSP) nos restringe en que el diseño de la ruta optimizada debería

tener solamente una pasada por el mismo lugar, hecho que no se contrata completamente a la realidad, puesto que las calles de algunas zonas que coincidan consecutivamente en la dirección del tráfico, teóricamente dejarían de ser atendidas; por ello Taha, H. propone en su libro Investigación de operaciones

CAPÍTULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

La solución propuesta se enfoca en la optimización de las rutas recolectoras de residuos sólidos para mejorar la eficiencia de servicio de limpieza en el distrito de Chiclayo. Por este motivo, se inicia con una descripción de las actividades previas, la mejora aplicada en cada zona para la optimización de rutas, incluyendo los indicadores para una mejor gestión. Luego se procede a ejecutar el modelo matemático del agente Viajero, por último, se presentan el costo beneficios cualitativos y las amenazas relacionadas al proyecto.

5.1. Aplicación del Método matemático de la ruta más corta

El problema de la ruta más corta de programación lineal tiene muchas aplicaciones, que nos permite buscar la solución a un problema de optimización, el objetivo en este proyecto de investigación es generar menor costo y llegar de manera más rápida del punto de origen al punto destino de toda la red.

Además para aplicar el modelo es necesario medir el kilometraje de nodo a nodo, tomando como referencia la dirección y sentido del tráfico de cada calle o avenida hasta llegar al destino.

5.2. Aplicación del modelo matemático Agente Viajero (TSP)

A través de este modelo matemático Agente Viajero tendremos que encontrar un conjunto de rutas que conecten diversos puntos, para hallar un camino que genere menor costo cumpliendo con la condición de recorrer todos los puntos o nodos asignados a cada cuadra de las zonas.

Además este diseñador de rutas deberá tomar en consideración lo indicado en diversos métodos y algoritmos utilizados, para

facilitar su trabajo y contar con pre diseños factibles que necesariamente se probarán en campo.

El procedimiento para la ejecución de este estudio para aplicar el modelo de agente viajero y el modelo de la ruta más corta se realizó en 4 etapas. (Anexo Fig. 5)

- Estudio de Ruta más corta de Planta a Zona
- Estudio de ruta más corta de zona a Reque (Botadero)
- Estudio de ruta más corta de Reque a Planta
- Estudio del agente viajero a Zona integra con estados antecesores

5.2.1. Estudio de ruta Optima Zona 32

Para aplicar el método de optimización en la zona 32, se realizó en 4 etapas diferentes el estudio, que comprende la primera etapa aplicar el Método de la ruta más corta desde Planta a la Zona, de la zona a reque, de Reque a planta, una vez obtenidos las rutas optimas de traslado que no demandan trabajo de recolección se integra los resultados al modelo del agente Viajo y se aplica a la zona en si es decir a la zona 32 finalmente para poder integrar todos los estudios y regrese el compactador a planta lugar donde inicio, Obteniendo un resultado Ruta que inicia en planta, pasa a la zona 32 para recolectar, luego se va a votar los residuos sólidos y finalmente regresa a planta.

5.2.1.1. Ruta más corta de Planta hacia la Zona N° 32

Para construir la fórmula objetivo para el modelo ruta más corta que está detallada en la Figura N° 5.17 se tomará como base el Método de la ruta más corta. El modelo genera la ruta más

corta, para ello se construye la red, para este caso se analizó 3 rutas que empieza desde Planta (Nodo N°1), ubicado en Av. Sáenz Peña N° 1820 siendo el punto de inicio de las 3 rutas, la primera continua por Av. Agusto B. Leguia y Av. José Balta (Nodo N°06), Av. Agusto B. Leguia y Luiz Gonzales (Nodo N° 07), Av. Agusto B. Leguia y Av. Angamos (Nodo N° 08), Av. Angamos y Av. Manuel Pardo (Nodo N° 9), pasa Por Av. Pedro Ruiz y Av. Amgamos, llega a Av. San José y Av. Angamos, y llega hasta Av. Salaverry y Av. Elías Aguirre. Mientras que la ruta 2 y 3 sale por todo Av. Av. Sáenz Peña y Av. Pedro Ruiz (Nodo N°03), Pedro Ruiz y Av. Luis Gonzales, uniéndose con la ruta 1 en Av. Pedro Ruiz y Av. Angamos, mientras q la ruta 3 se abre por Av. Pedro Ruiz y y Av. José Balta saliendo por Av. José balta, lora y Cordero uniéndose con la ruta 1 en Av. Lora y lora y Av. Angamos.

Para Aplicar este Modelo se tendrá las siguientes restricciones:

- La función objetivo considera los costos de moverse de un nodo a otro, o de un origen a un destino. Las restricciones están divididas en tres grupos:
- La restricción del nodo de origen dice que debe dejar el nodo 1 para ir al 2 o 3.

- La restricción del nodo intermedio dice que si siempre que se dirija a un nodo usted deberá dejar ese nodo.

- El nodo de destino es similar al nodo de origen dado que se puede alcanzar este nodo solo desde los nodos vecinos.

Modelo matemático ruta más corta de Planta a Zona

Sea U_i la distancia más corta desde el nodo de origen 1 hasta el nodo i

Definimos d_{ij}>= 0 Como la longitud de arco entre los nodos i,j.

Entonces los nodos serán etiquetados:

$$[\underbrace{U_i + d_{ij}}_{\text{Distancia hasta el nodo j desde el nodo origen}}, \underbrace{i}_{\text{nodo inmediato al anterior al j}}]$$

Construcción de red para la ruta más corta de planta a zona 32

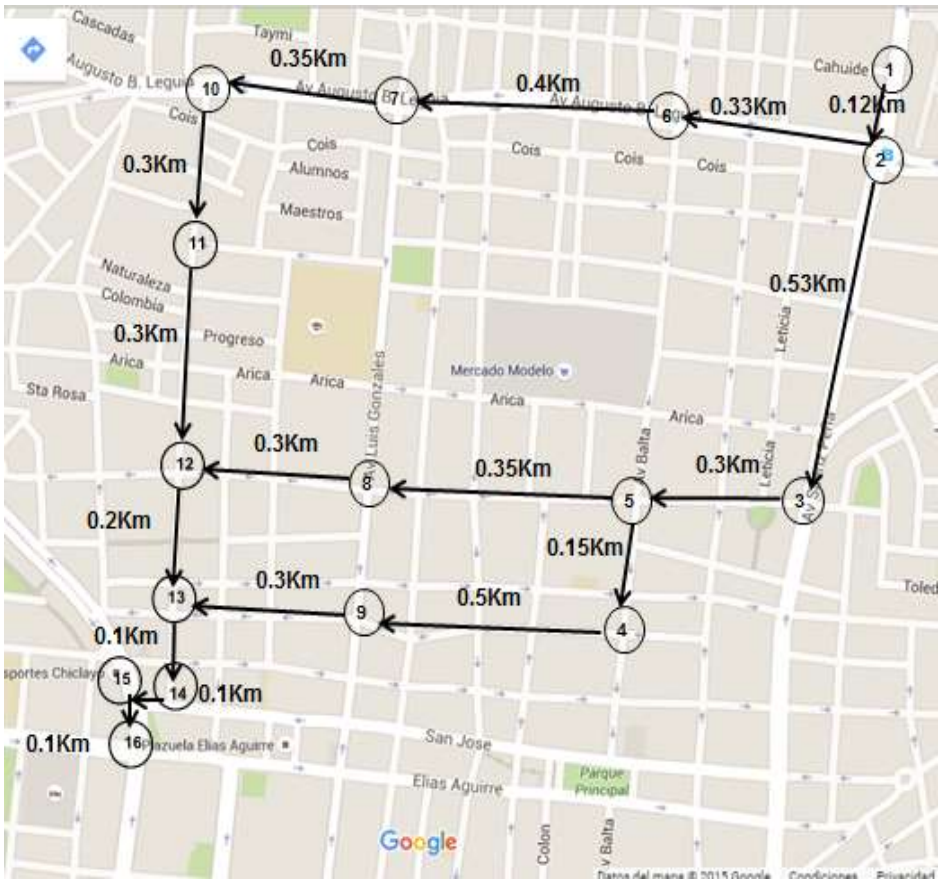


Figura 5.1. Construcción de la red según geográfico para definir a ruta más corta de planta a zona 32.
Fuente: Autores

Tabla 5.1.

Nodos antecesores de origen Planta a zona 32

Nodo	Iteración 1	Iteración 2
1	(-, 0)	(-, 0)
2	(1, 0.12)	(1, 0.12)
3	(2, 0.53)	(2, 0.53)
4	(5, 0.15)	(5, 0.15)
5	(3, 0.30)	(3, 0.30)
6	(2, 0.33)	(2, 0.33)
7	(6, 0.40)	(6, 0.40)
8	(5, 0.35)	(5, 0.35)
9	(4, 0.50)	(4, 0.50)
10	(7, 0.35)	(7, 0.35)
11	(10, 0.30)	(10, 0.30)
12	(11, 0.30)	(8, 0.30)
13	(12, 0.20)	(9, 0.30)
14	(13, 0.10)	(13, 0.10)
15	(14, 0.10)	(14, 0.10)
16	(15, 0.10)	(15, 0.10)

Fuente: autores

Tabla 5.2.

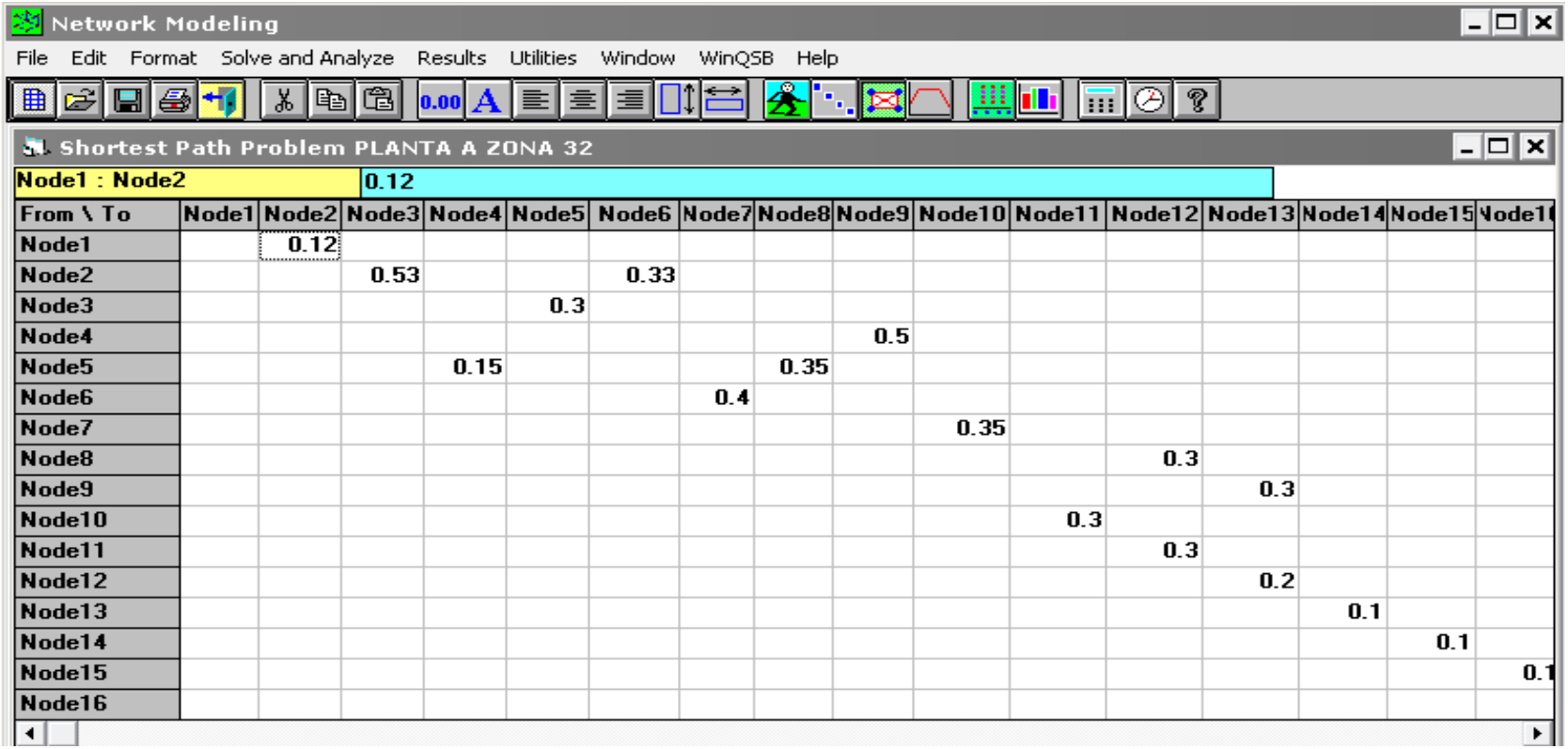
Resumen del resultado del nodo más cercano de planta a zona 32.

Nodo Conectado	Nodos Conectados más cercano	Distancia involucrada	Nodo más cercano	Distancia mínima	Última Conexión
1	2	0.12	2	0.12	**12**
2	3	0.53	3	0.53	**23**
	6	0.33			
3	5	0.30	5	0.30	**35**
4	9	0.50	9	0.50	49
5	4	0.15	8	0.35	**58**
	8	0.35			
6	7	0.40	7	0.40	67
7	10	0.35	10	0.35	710
8	12	0.30	12	0.30	**812**
9	13	0.30	13	0.30	913
10	11	0.30	11	0.30	1011
11	12	0.30	12	0.30	1112
12	13	0.20	13	0.20	**1213**
13	14	0.10	14	0.10	**1314**
14	15	0.10	15	0.10	**1415**
15	16	0.10	16	0.10	**1516**
			TOTAL	**2.10**	

Fuente: autores

Resultado la ruta más óptima: 1-2-3-5-8-12-1-14-15-16 = 2.10 km

Base datos de la ruta de planta hacia 32 en WinQSB según red



From \ To	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6	Node7	Node8	Node9	Node10	Node11	Node12	Node13	Node14	Node15	Node16
Node1		0.12														
Node2			0.53			0.33										
Node3					0.3											
Node4									0.5							
Node5				0.15				0.35								
Node6							0.4									
Node7										0.35						
Node8												0.3				
Node9													0.3			
Node10											0.3					
Node11												0.3				
Node12													0.2			
Node13														0.1		
Node14															0.1	
Node15																0.1
Node16																

Figura 5.2. Nodos y distancias ingresados en software WinQSB de planta hasta la zona 32 según red.
Fuente: Autores

Luego a través de la opción Solve and Analyze de WinQSB, generaremos una tabla con la secuencia de nodos, que nos indicará cual es la ruta que nos conviene seguir para llegar en menos tiempo, distancia y costo a nuestro destino

Solución de la ruta más corta más de planta a zona 32

for Shortest Path Problem PLANTA A ZONA 32

10-14-2015	From	To	Distance/Cost	Cumulative Distance/Cost
1	Node1	Node2	0,12	0,12
2	Node2	Node3	0,53	0,65
3	Node3	Node5	0,30	0,95
4	Node5	Node8	0,35	1,30
5	Node8	Node12	0,30	1,60
6	Node12	Node13	0,20	1,80
7	Node13	Node14	0,10	1,90
8	Node14	Node15	0,10	2
9	Node15	Node16	0,10	2,10

Figura 5.3. Secuencia de nodos que nos indica la ruta corta de planta hasta la zona 32.
Fuente: Autores

Con ayuda del WinQSB, nos permite recrear la gráfica todos los posibles caminos que podemos emplear para llegar a nuestro destino, sin embargo ya en la Figura N°5.19 nos definió que la ruta que nos convenía recorrer es partir de planta hacia el nodo 2, continuando por el nodo 5, 8, 12, 13, 14 y 15 que queda en Elías Aguirre y Av. Salaverry.

Añadiendo que el compactador según su ficha técnica nos indica que su máximo velocidad es 20 km por hora, cuya velocidad se puede aplicar en este tramo que tiene por distancia 2.1 km, que se puede recorrer en un tiempo de 0.11

horas, generando un costo de combustible de 1.35 soles por viaje.

Solución gráfica de la ruta más corta de la planta a zona 32

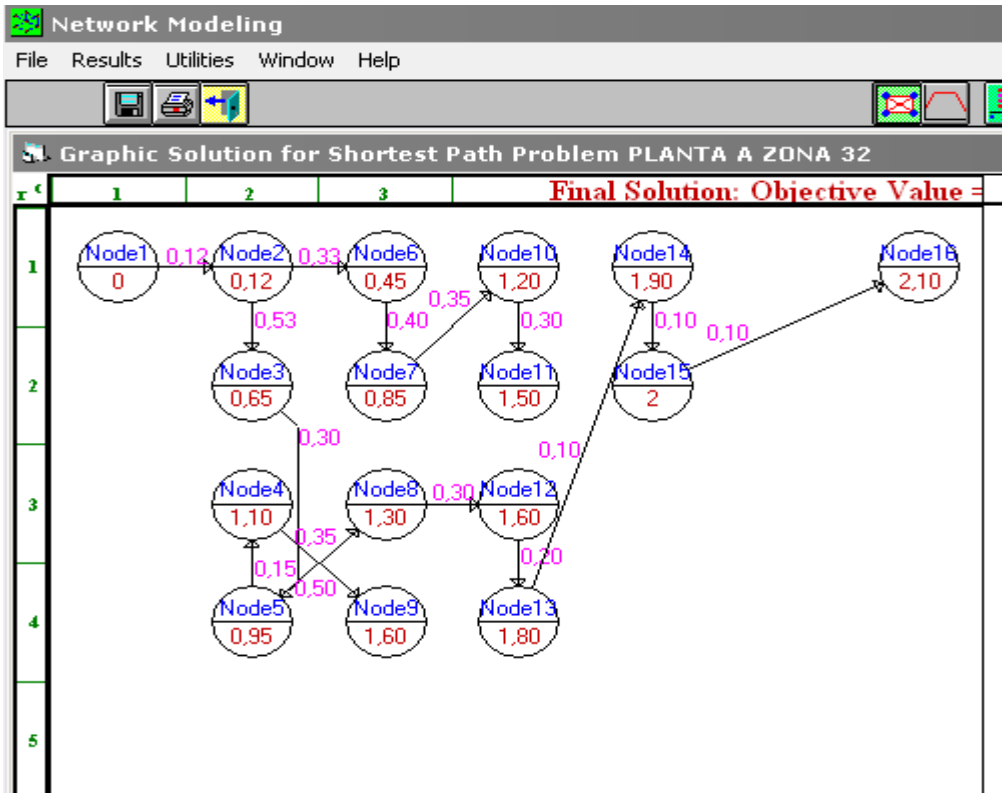


Figura 5.4. Solución gráfica ruta corta de planta a zona 32.
Fuente: Autores

5.2.1.2. Ruta más corta Zona N° 32 Botadero Reque.

Para construir la fórmula objetivo para el modelo ruta más corta que está detallada en la Figura 5.20 se tomará como base el Método de la ruta más corta. El modelo genera la ruta más corta, para ello se construye la red, para este caso se analizó 3 rutas que empieza el Nodo N° 1 Siendo la Av José Balta y Av. Garcilaso de vega finalizando en Roque (Botadero de Basura).

Modelo matemático ruta más corta de Zona reque

Sea U_i la distancia más corta desde el nodo de origen 1 hasta el nodo i

Definimos d_{ij}>= 0 Como la longitud de arco entre los nodos i,j.

Entonces los nodos serán etiquetados:

$$[\underbrace{U_i + d_{ij}}_{\text{Distancia hasta el nodo j desde el nodo origen}}, \underbrace{i}_{\text{nodo inmediato al anterior al j}}]$$

Construcción de la red para la para seleccionar precisa de ruta más corta zona 32 a Reque

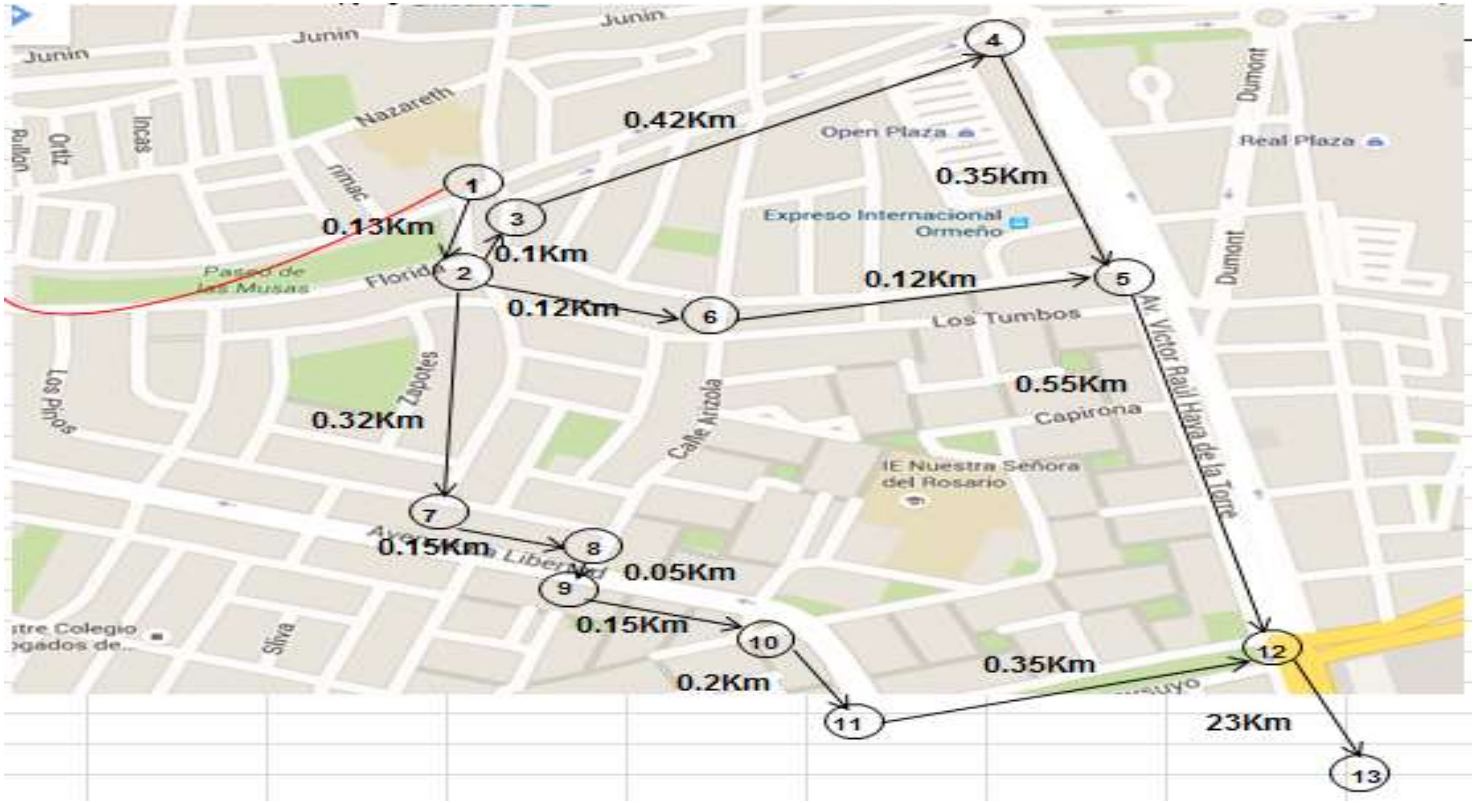


Figura 5.5. Red según mapa geográfico para definir la ruta más corta de zona 32 a Reque.

Fuente: Autores

Tabla 5.3.

Nodos antecesores de origen zona 32 a Reque

Nodo	Iteración 1	Iteración 2
1	(-, 0)	(-, 0)
2	(1, 0.13)	(1, 0.13)
3	(2, 0.10)	(2, 0.10)
4	(3, 0.42)	(3, 0.42)
5	(4, 0.35)	(6, 0.12)
6	(2, 0.12)	(2, 0.12)
7	(2, 0.32)	(2, 0.32)
8	(7, 0.15)	(7, 0.15)
9	(8, 0.05)	(8, 0.05)
10	(9, 0.15)	(9, 0.15)
11	(10, 0.20)	(10, 0.20)
12	(11, 0.35)	(5, 0.55)
13	(12, 23)	(12, 23)

Tabla 5.4.

Ruta más Corta de zona 32 a Reque.

Nodo Conectado	Nodos Conectados más cercano	Distancia involucrada	Nodo más cercano	Distancia mínima	Última Conexión
1	2	0.13	2	0.13	**12**
2	3	0.1	7	0.32	**27**
	6	0.12			
	7	0.32			
3	4	0.42	4	0.42	34
4	5	0.35	5	0.35	45
5	12	0.55	12	0.55	512
6	5	0.12	5	0.12	65
7	8	0.15	8	0.15	**78**
8	9	0.05	9	0.05	**89**
9	10	0.15	10	0.15	**910**
10	11	0.2	11	0	**1011**
11	12	0.35	12	0.35	**1112**
12	13	23	13	23	**1213**
			TOTAL	**24.15**	

Resultado la ruta más óptima: 1-2-7-8-9-10-11-12-13 = 2.15 km.

La información de los nodos, secuencia y distancia de la figura N°5.21 tendremos que ingresada en el software de WinQSB como se observa en la Figura N°5.20; tomando en cuenta que todos los posibles caminos partirán del nodo 1 que está en la Av José Balta y Av. Garcilaso de vega, seguido del nodo 2 ubicado en Av. José Balta y Florida, luego se representan 3 rutas que se ubican en Av José Balta y Av. Garcilaso de vega Nodo 3, saliendo por AV. Victor raul haya de la torre y Av. Garcilaso de vega nodo 4, Saliendo por el nodo 5 ubicado en AV. Victor raul haya de la torre y la calle florida, luego al Nodo 12 que esta entre AV. Victor raul haya de la torre y Av. Chinchaysuyo, finalizando en el nodo 13 que lo estamos tomando como el Botadero de reque; Mientras que otra ruta sale por el nodo 6 ubicado en Calle Arisola y calle florida, luego se une al Nodo 5, y continuando por la misma ruta que de definió anteriormente, mientras la otro Opción sale por el nodo 7ubicado en calle los Pinos y Calle los faiques luego, pasa al nodo 8 siendo las calle Los pinos y calle arizola, luego el nodo 9 siendo Av. La libertad y calle Arizola, luego pasa al nodo 10 en Av. La libertad y calle Racarrumi, Psando al nodo 11 en Av. Chinchaysuyo para luego unirse en nodo 12 y dirigirse a reque.

Base datos de la ruta zona 32 a Reque en WinQSB según red

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

Shortest Path Problem RUTA MAS CORTA DE ZONA A PLANTA

Node8 : Node4

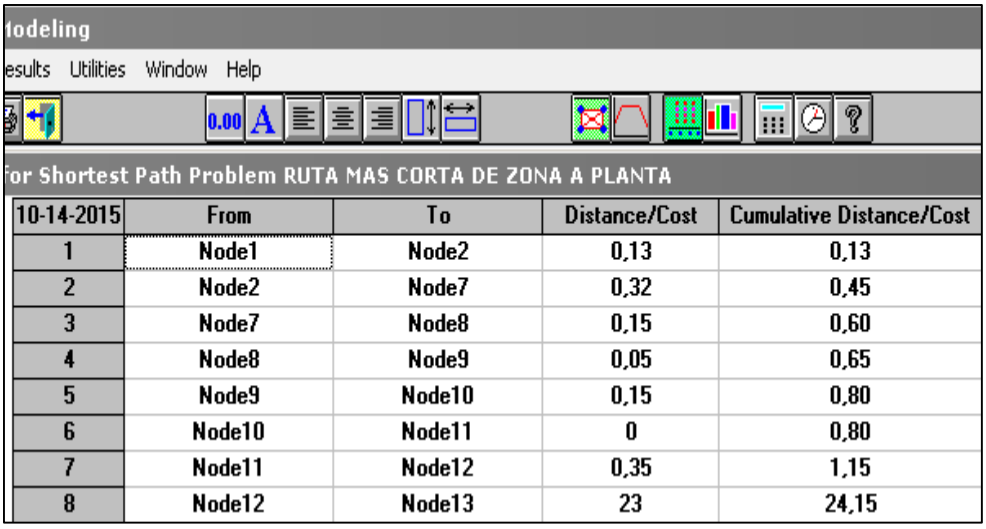
From \ To	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6	Node7	Node8	Node9	Node10	Node11	Node12	Node13
Node1		0.13											
Node2			0.1			0.22	0.32						
Node3				0.43									
Node4					0.35								
Node5												0.55	
Node6					0.3								
Node7								0.15					
Node8									0.05				
Node9										0.15			
Node10											0.2		
Node11												0.35	
Node12													23
Node13													

Figura 5.6. Nodos y distancias ingresados en Software WinQSB, de zona 32 a Reque .

Fuente: Autores

Luego a través de la opción Solve and Analyze de WinQSB, generaremos una tabla con la secuencia de nodos, que nos indicará cual es la ruta que nos conviene seguir para llegar en menos tiempo, distancia y costo a nuestro destino

Solución de ruta más corta en WinQSB Ζονα 32 α Ρεθυε



10-14-2015	From	To	Distance/Cost	Cumulative Distance/Cost
1	Node1	Node2	0,13	0,13
2	Node2	Node7	0,32	0,45
3	Node7	Node8	0,15	0,60
4	Node8	Node9	0,05	0,65
5	Node9	Node10	0,15	0,80
6	Node10	Node11	0	0,80
7	Node11	Node12	0,35	1,15
8	Node12	Node13	23	24,15

Figura 5.7. Ruta más corta de planta a zona 32 a Reque
Fuente: Autores

WinQSB, también nos permite recrear la gráfica todos los posibles caminos que podemos emplear para llegar a nuestro destino, sin embargo ya en la Figura N°5.23 nos definió que la ruta más corta nodo 1 hacia el nodo 2, 7, 8, 9, 10, 11,12, y 13

La suma total de la ruta más corta desde la zona 32 hasta el botadero Reque es de 24.35 kilómetros, siendo esta la mejor alternativa para llegar a nuestro destino en el menor tiempo que es de 1.22 horas generando un costo de combustible de 15.65 soles por viaje.

Solución grafica de ruta más corta de Zona 32 a reque.

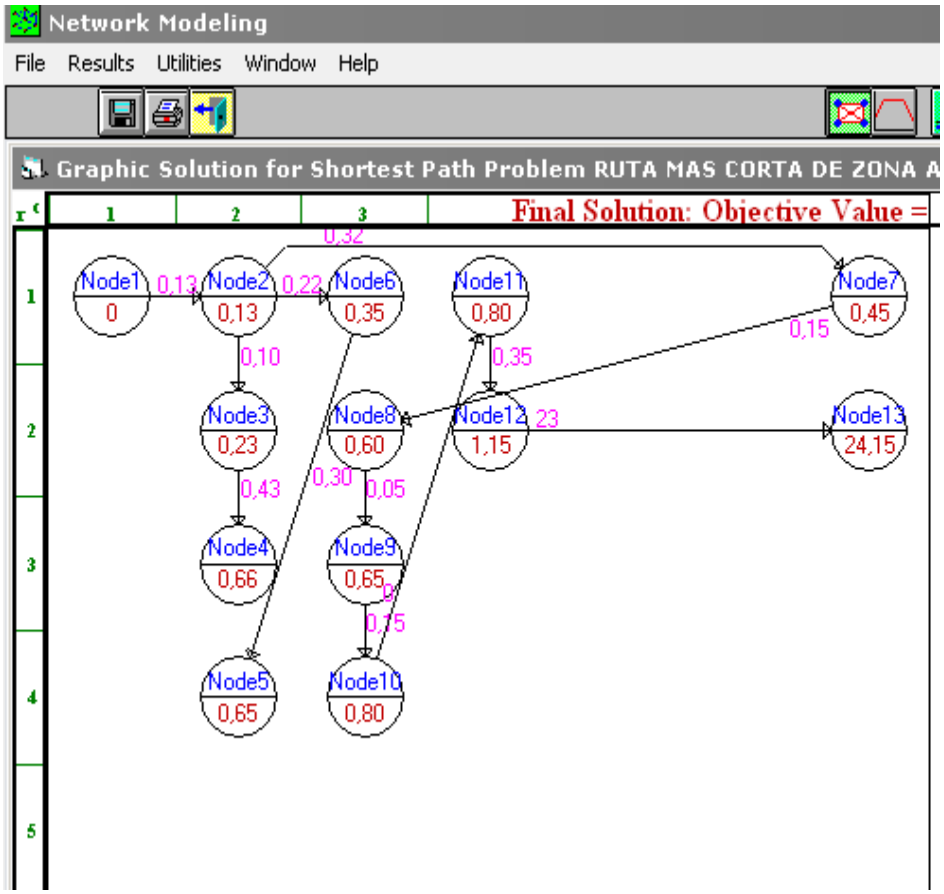


Figura 5.8. Solución gráfica ruta más corta de zona 32 a Reque.
Fuente: Autores

5.2.1.3. Modelo matemático para zona 32

Enunciado:

Un compactador tiene que recolectar los residuos de la zona 32 que la detallamos en el Plano figura 5.10 y lo tienes que hacer pasando tan solo una Vez partiendo desde planta a zona, de zona a Reque, Reque a Planta. Que estaría regresando al final del recorrido, viajando el menor tiempo posible, la siguiente Figura 5.9 muestra las distancias entre cuadras (Km) cada cuadra es un nodo:

Figura 5.9. Distancias de Zona 32
Fuente: Autores

Nota: Ver Anexos

Planteamiento de Problema

$$X_{ij} = \begin{cases} 1; Si\ llega\ \ la\ cuadra\ i, a\ la\ cuadra\ j \\ 0; No\ pasa\ por\ lacuadra\ \ i\ a\ la\ j \end{cases}$$

$Si\ d_{ij}\ es\ la\ distancia\ de\ la\ cudra\ j, elmodelo\ del\ ajente\ viajero\ es\ el\ Siguiente$:

Min Z:

2.1x01 + 0.074x12 + 0.181x23 + 0.318x233 + 0.181x32+ 0.077x34 + 0.095x349 + 0.068x45 + 0.094x56 + 0.012x531 + 0.053x67 + 0.072x630 + 0.53x78 + 0.139x89 + 0.05x827 + 0.138x98 + 0.40x910 + 0.055x928 + 0.4x109 + 0.359x1011 + 0.114x1112 + 0.113x1213 + 0.125x1314 + 0.62x1320 + 0.125x1413 + 0.121x1415 + 0.21x1419 + 0.344x1516 + 0.115x1617 + 0.099x1718 + 0.038x1819 + 0.21x1914 + 0.062x2014 + 0.195x2021 + 0.051x2122 + 0.094x2225 + 0.244x2226 + 0.344x2324 + 0.051x247 + 0.094x2522 + 0.051x2523 + 0.096x2627 + 0.05x278 + 0.236x2725 + 0.055x289 + 0.034x2829 + 0.116x296 + 0.034x2928 + 0.094x304 + 0.096x3129 + 0.066x3132 + 0.066x3231 + 0.102x3249 + 0.254x3334 + 0.073x3438 + 0.063 x3536 + 0.031x3637 + 0.031x3639 + 0.078x3738 + 0.179x3835 + 0.222x3947 + 0.176x4050 + 0.12x4052 + 0.066x4056 + 0.059x4142 + 0.217x4142 + 0.217x4175 + 0.172x4243 + 0.148x4340 + 0.064x4344 + 0.064x4443 + 0.175x4445 + 0.142x4447 + 0.142x4548 + 0.162x4448 + 0.223x4739 + 0.142x4744 + 0.107x4846 + 0.095x493 + 0.102x4932 + 0.176x5040 + 0.153x5153 + 0.198x5150 + 0.12x5240 + 0.197x5253 + 0.026x5254 + 0.146x5350 + 0.197x5352 + 0.052x5366 + 0.063x5455 + 0.138x5556 + 0.049x5558 + 0.045x5657 + 0.066x5741 + 0.141x5758 + 0.045x5859 + 0.0106x5960+ 0.033x5978 + 0.066x6061 + 0.063x6162 + 0.032x6263 + 0.093x6364 + 0.037x6366 + 0.058x6467 + 0.035x6468 + 0.157x6554 + 0.092x6667 + 0.058x6765 0.066x6864 + 0.089x6870 + 0.065x6970 + 0.211x7078 + 0.078x7174 + 0.084x7273 + 0.063x72100 + 0.084x7372 + 0.078x7471 + 0.144x7473 + 0.155x7475 + 0.217x7541 + 0.155x7574 + 0.177x7576 + 0.184x7677 + 0.063x7699 + 0.139x7741 + 0.033x7877 + 0.153x7879 + 0.118x7980 + 0.043x7982 + 0.03x7997 + 0.031x8081 + 0.033x8096 + 0.031x8180 + 0.029x8184 + 0.031x8281 + 0.26x8283 + 0.039x8386 + 0.029x8481 + 0.096x8483 + 0.036x8485 + 0.036x8584 + 0.039x8683 + 0.029x8687 + 0.029x8786 + 0.189x8788 + 0.041x8889 + 0.081x8990 + 0.029x8992 + 0.023x9091 + 0.079x9192 + 0.029x9289 + 0.169x9293 + 0.169x9392 + 0.045x9394 + 0.045x9493 + 0.087x9495 + 0.078x9580 + 0.033x9680 +

0.038x96101 + 0.03x9779 + 0.044 x 9798 + 0.044x9897 + 0.031x9899 + 0.101x9973 + 0.063x9979 + 0.151x100103 + 0.038x10196 + 0.114x10198 + 0.038x101103 + 0.092x102104 + 0.111x103102 + 0.24.35x104105 + 25.5x105

S.a

x01+ x12 =1

x23 + x233 = 1

x32+ x34 + x349 = 1

x45 = 1

x56 + x531 = 1

x67 + x630 = 1

x78 = 1

x89 + x827 = 1

x98 + x910 + x928 = 1

x109 + x1011 =1

x1112=1

x1213 =1

x1314 + x1320=1

x1413 + x1415 + x1419 = 1

x1516=1

x1617 =1

x1718=1

x1819=1

x1914 =1

x2014 + x2021 =1

x2122 =1

x2225 + x2226=1

x2324=1

x247 =1

x2522 + x2523=1

x2627 =1

x278 + x2725=1

x289 + x2829=1

x296 + x2928=1

x304 =1

x3129 + x3132 =1

x3231 + x3249 =1

x3334 =1

x3438 + x3536 =1

x3637 + x3639=1

x3738 =1

x3835 =1

x3947 =1

x4050 + x4052 x4056 =1

x4142 + x4142 + x4175 =1

x4243 =1

x4340 + x4344 =1

x4443 + x4445 + x4447 =1=1

x4548 =1=1

x4648 =1

x4739 + x4744 =1

x4846 =1

x493 + x4932 =1

x5040 =1

x5153 + x5150 =1

x5240 + x5253 + x5254 =1

x5350 + x5352 + x5366 =1

x5455 =1

x5556 + x5558 =1

x5657=1

x5741 + x5758 =1

x5859 =1

x5960 + x5978 = 1

x6061 + x6162 =1

x6263 =1

x6364 + x6366 =1

x6467 + x6468 =1

x6554 =1

x7471 + x7473 + x7475 =1

x7541 + x7574 + x7576 =1

x7677 + x7699 =1=1

x7741 =1

x7877 + x7879 =1

x7980 + x7982 + x7997 =1

x8081 + x8096 =1

x8180 + x8184 =1

x8281 + x8283 =1

x8386 =1

x8481 + x8483 + x8485 =1

x8584 =1

x8683 + x8687 =1

x8786 + x8788 =1

x8889 =1

x8990 + x8992 =1

x6667 =1

x6765 =1

x6864 + x6870=1=1

x6970 =1

x9091 + x9192 =1

x9289 + x9293 =1

x9392 + x9394 =1

x9493 + x9495 =1

x9580 =1

x9680 + x96101 =1

x9779 + x9798 =1

x9897 + x9899 =1

x9973 + x9979 =1

x100103 =1

x10196 + x10198 = 1 x101103 =1

x102104 =1

x103102 =1

x104105 =1

x105 =1

x7078 =1

x7174 =1

x7273 + x72100 =1

x7372 =1

S.a

X10+ x21 =1

x32 + x332 = 1

x23+ x43 + x493 = 1

x45 = 1

x65 + x315 = 1

x76 + x306= 1

x87 = 1

x98 + x278 = 1

x89 + x109 + x289 = 1

x910 + x1110 = 1

x1211 = 1

x1312 =

x1413 + x2013 = 1

x1314 + x1514 + x1914 = 1

x1615 = 1

x1716 = 1

x1817 = 1

x1918 = 1

x1419 = 1

x2014 + x2120 = 1

x2221 = 1

x2522 + x2622 = 1

x2423 = 1

x724 = 1

x2225 + x2325 = 1

x2726 = 1

x827 + x2527 = 1

x928 + x2928 = 1

x629 + x2829 = 1

x430 = 1

x2931 + x3231 = 1

x3132 + x4932 = 1

x3433 = 1

x3834 + x3635 = 1

x3736 + x3936 = 1

x3837 = 1

x3538 = 1

x4739 = 1

x5040 + x5240 x5640 = 1

x4241 + x4241 + x7541 = 1

x4342 = 1

x4043 + x4443 = 1

x4344 + x4544 + x4744 = 1

x4845 = 1

x4846 = 1

x3947 + x4447 = 1

x4648 = 1

x349 + x3249 = 1

x4050 = 1

x5351 + x5051 = 1

x4052 + x5352 + x5452 = 1

x5053 + x5253 + x6653 = 1

5554 = 1

x5655 + x5855 = 1

x5756 = 1

x4157 + x5857 = 1

x5958 = 1

x6059 + x7859 = 1

x6160 + x6261 = 1

x6362 = 1

x6463 + x6663 = 1

x6764 + x6864 = 1

x5465 = 1

x6766 = 1

x6567 = 1

x6468 + x7068 = 1

x7069 = 1

x7870 = 1

x7471 = 1

x7372 + x10072 = 1

x7273 = 1

x7174 + x7374 + x7574 = 1

x4175 + x7475 + x7675 = 1

x7776 + x9976 = 1

x4177 = 1

x7778 + x7978 = 1

x8079 + x8279 + x9779 = 1

x8180 + x9680 = 1

x8081 + x8481 = 1

x8182 + x8382 = 1

x8683 = 1

x8184+ x8384 + x8584 = 1

x8485 = 1

x8386 + x8786 = 1

x8687 + x8887 = 1

x8988 = 1

x9089 + x9289 = 1

x9190 + x9291 = 1

x8992 + x9392 = 1

x9293 + x9493 = 1

x9394 + x9594 = 1

x8095 = 1

x8096 + x10196 = 1

x7997 + x9897= 1

x9798 + x9998 = 1

x7399 + x7999 = 1

x103100 = 1

x96101+ x98101 + x103101 = 1

x104 + 102 = 1

x102103 = 1

x105104 = 1

x105= 1

Xij>=0 E Z

3. Solución:

Para la solución se empleará un paquete computacional llamado WinQSB en el que se pueden resolver problemas de Programación lineal y Programación entera.

Las variables "Xij" fueron acomodadas en orden de acuerdo a su posición de la siguiente manera:

X01=X1, X12=X2,...,X105=X75.

5.2.1.4. Aplicación del Agente Viajero con WINQSBen la Zona 32.

Para construir la fórmula objetivo para el modelo de optimización, de la Zona 32 que está detallada en la Figura N°5.25 se tomará como base el Método del Agente Viajero TSP. El modelo genera rutas óptimas y, dadas que un compactador puede recorrer por turno 2 Zonas.

Para Aplicar este Modelo se tendrá las siguientes restricciones: El compactador deberá tomar el punto de inicio como su punto de llegada, siendo como punto de inicio y llegada planta.

- El compactador deberá pasar por todos los nodos establecidos en la zona 32 de forma más Óptima.

- El compactador pasara 1 sola vez recolectado residuos sólidos respetando el sentido de la calle, y se considerara pasar doble cuando se necesite pasar a otra a vía para seguir recolectado pero ya no recolecta y se identifica en la Figura N° 5.25 las líneas Punteadas indicado que no recolecta.

A partir de esta información, se sustenta que la función objetivo es minimizar distancia total recorrida realizando un eficiente servicio de limpieza en la zona, cabe recalcar que la compactadora tiene que dejar limpia la zona, sin embargo no necesariamente significa que tiene que recorrer absolutamente todas las calles o pasajes, puesto que observaremos en la Figura N°5.25 en el nodo N° 55 el compactado se estacionara 3 min para sacar los residuos de

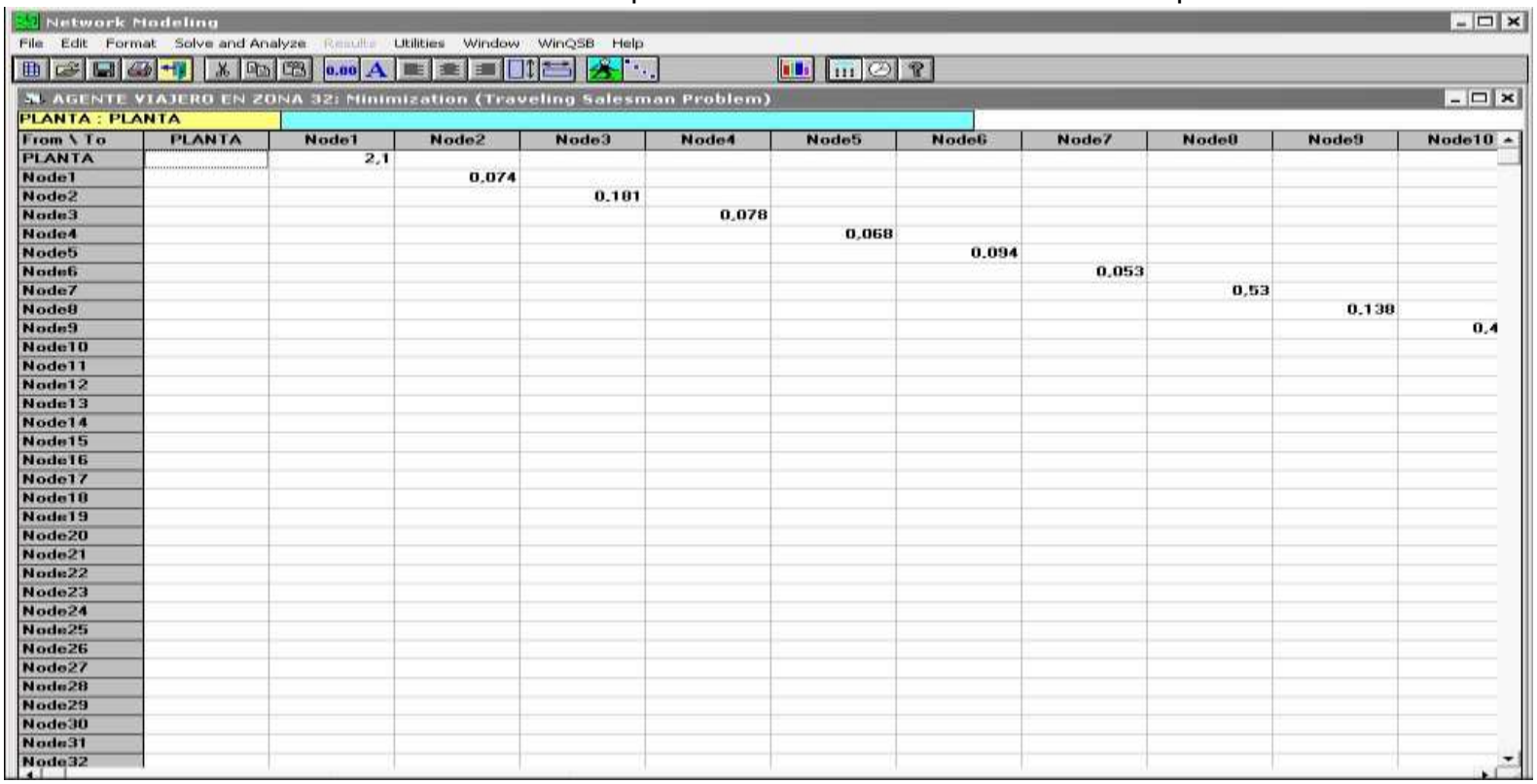
la calle Ermancipación y 50 ya que el compactador no ingresa por calles reducidas.

En la zona 32 podremos visualizar Figura N° 5.25 en la cual la ruta del recojo actual de la Zona 32, plano que hemos incorporado los nodos y marcado las distancias para identificar fácilmente cuantos kilómetros hay de nodo a nodo o la distancia total que consta de 17.60 kilómetros; además considerando desde la distancia desde planta más la zona y de la zona a Reque se realiza en un tiempo de 5.11 horas y genera un costo de 47.71 soles por viaje.

Figura 5.10. Ruta actual en AutoCAD zona 32.
Fuente: Institución de Chiclayo Limpio

La información obtenida en el mapa anterior será ingresada en el Sowftare WinQSB, la cual está programada para ser analizada por el modelo del Agente viajero (TSP), teniendo como función objetivo minimizar las distancias, por ende minimizará el tiempo y costo de combustible.

Base de datos de zona 32 para la recolección de residuos sólidos parte 1

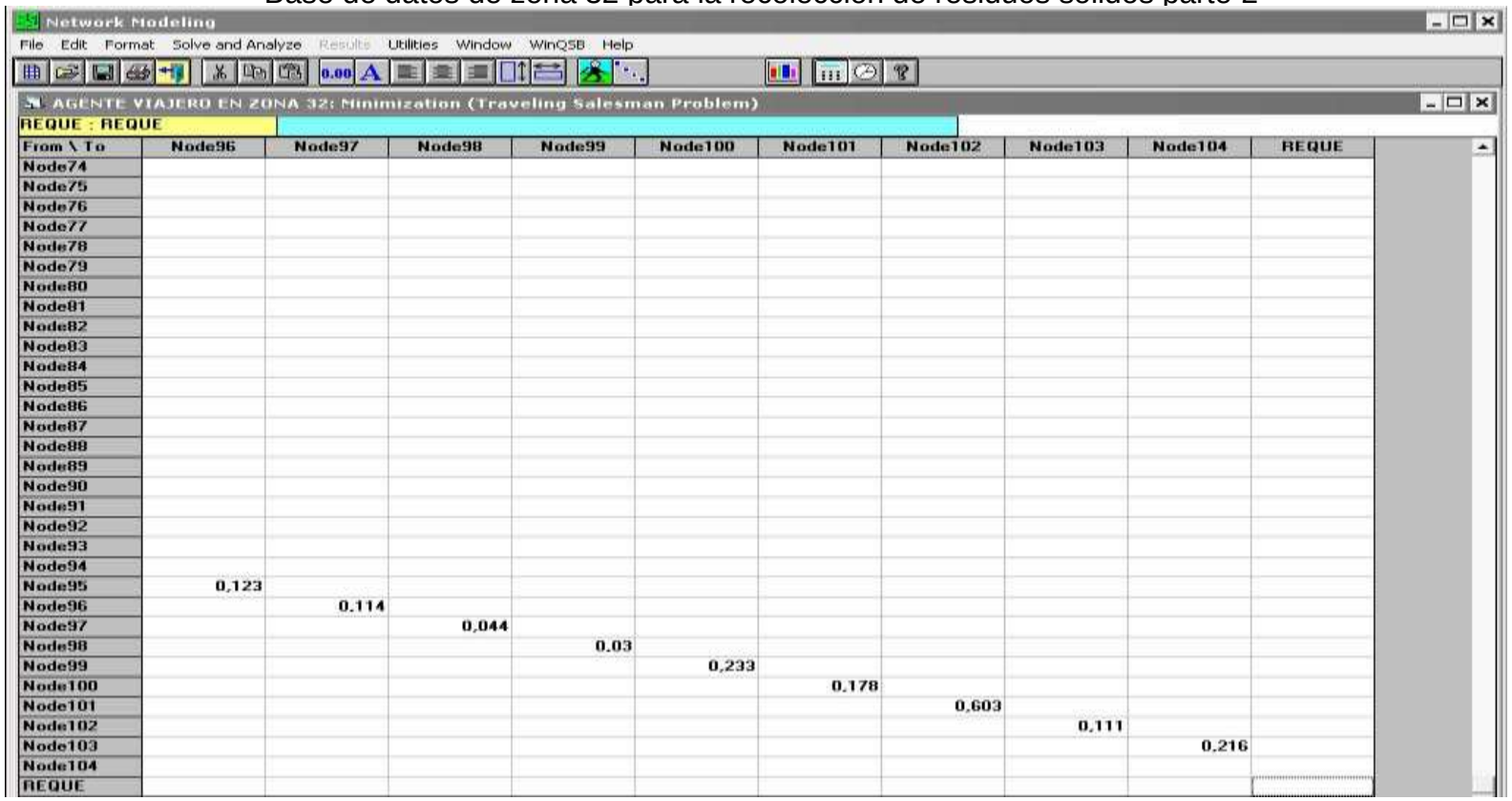


From \ To	PLANTA	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6	Node7	Node8	Node9	Node10
PLANTA		2,1									
Node1			0,074								
Node2				0,181							
Node3					0,078						
Node4						0,068					
Node5							0,094				
Node6								0,053			
Node7									0,53		
Node8										0,138	
Node9											0,4
Node10											
Node11											
Node12											
Node13											
Node14											
Node15											
Node16											
Node17											
Node18											
Node19											
Node20											
Node21											
Node22											
Node23											
Node24											
Node25											
Node26											
Node27											
Node28											
Node29											
Node30											
Node31											
Node32											

Figura 5.11. Base de datos parte 1 en WinQSB zona 32.

Fuente: Autores

Base de datos de zona 32 para la recolección de residuos sólidos parte 2



From \ To	Node96	Node97	Node98	Node99	Node100	Node101	Node102	Node103	Node104	REQUE
Node74										
Node75										
Node76										
Node77										
Node78										
Node79										
Node80										
Node81										
Node82										
Node83										
Node84										
Node85										
Node86										
Node87										
Node88										
Node89										
Node90										
Node91										
Node92										
Node93										
Node94										
Node95	0,123									
Node96		0,114								
Node97			0,044							
Node98				0,03						
Node99					0,233					
Node100						0,178				
Node101							0,603			
Node102								0,111		
Node103									0,216	
Node104										
REQUE										

Figura 5.12. Base de datos parte 2 en WinQSB dezona 32.

Fuente: Autores

Luego a través de la opción Solve and Analyze de WinQSB, se generará una tabla que a través de la secuencia de nodos nos indicará cual es la ruta que debemos seguir para llegar realizar un servicio de limpieza más eficiente, pasando por la mayoría de calles y Avenidas de la zona 32.

Solución de modelo matemático agente viajero en zona 32

/indow Help

AJERO EN ZONA 32: Minimization (Traveling Salesman Problem)

10-27-2015	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	PLANTA	Node1	210	54	Node53	Node54	44
2	Node1	Node2	7	55	Node54	Node55	6
3	Node2	Node3	18	56	Node55	Node56	14
4	Node3	Node4	8	57	Node56	Node57	5
5	Node4	Node5	7	58	Node57	Node58	14
6	Node5	Node6	9	59	Node58	Node59	5
7	Node6	Node7	5	60	Node59	Node60	11
8	Node7	Node8	53	61	Node60	Node61	7
9	Node8	Node9	14	62	Node61	Node62	6
10	Node9	Node10	40	63	Node62	Node63	3
11	Node10	Node11	36	64	Node63	Node64	9
12	Node11	Node12	11	65	Node64	Node65	12
13	Node12	Node13	11	66	Node65	Node66	22
14	Node13	Node14	13	67	Node66	Node67	9
15	Node14	Node15	12	68	Node67	Node68	10
16	Node15	Node16	34	69	Node68	Node69	6
17	Node16	Node17	12	70	Node69	Node70	7
18	Node17	Node18	10	71	Node70	Node71	82
19	Node18	Node19	4	72	Node71	Node72	14
20	Node19	Node20	40	73	Node72	Node73	8
21	Node20	Node21	19	74	Node73	Node74	14
22	Node21	Node22	5	75	Node74	Node75	16
23	Node22	Node23	14	76	Node75	Node76	18
24	Node23	Node24	34	77	Node76	Node77	18
25	Node24	Node25	39	78	Node77	Node78	7
26	Node25	Node26	32	79	Node78	Node79	15
27	Node26	Node27	10	80	Node79	Node80	12
28	Node27	Node28	19	81	Node80	Node81	3
29	Node28	Node29	3	82	Node81	Node82	10
30	Node29	Node30	19	83	Node82	Node83	3
31	Node30	Node31	28	84	Node83	Node84	10
32	Node31	Node32	7	85	Node84	Node85	4
33	Node32	Node33	50	86	Node85	Node86	9
34	Node33	Node34	25	87	Node86	Node87	3
35	Node34	Node35	20	88	Node87	Node88	19
36	Node35	Node36	6	89	Node88	Node89	4
37	Node36	Node37	12	90	Node89	Node90	2
38	Node37	Node38	8	91	Node90	Node91	23
39	Node38	Node39	50	92	Node91	Node92	8
40	Node39	Node40	57	93	Node92	Node93	2
41	Node40	Node41	67	94	Node93	Node94	5
42	Node41	Node42	6	95	Node94	Node95	9
43	Node42	Node43	17	96	Node95	Node96	12
44	Node43	Node44	6	97	Node96	Node97	11
45	Node44	Node45	18	98	Node97	Node98	4
46	Node45	Node46	15	99	Node98	Node99	3
47	Node46	Node47	16	100	Node99	Node100	23
48	Node47	Node48	36	101	Node100	Node101	18
49	Node48	Node49	33	102	Node101	Node102	60
50	Node49	Node50	37	103	Node102	Node103	11
51	Node50	Node51	20	104	Node103	Node104	22
52	Node51	Node52	41	105	Node104	REQUE	M
53	Node52	Node53	20	106	REQUE	PLANTA	M
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	M
	(Result	from	Nearest	Neighbor	Heuristic)		

Figura 5.13. Solución modelo matemático agente viajero zona 32.

Fuente: Autores

Solución gráfica de agente viajero zona 32

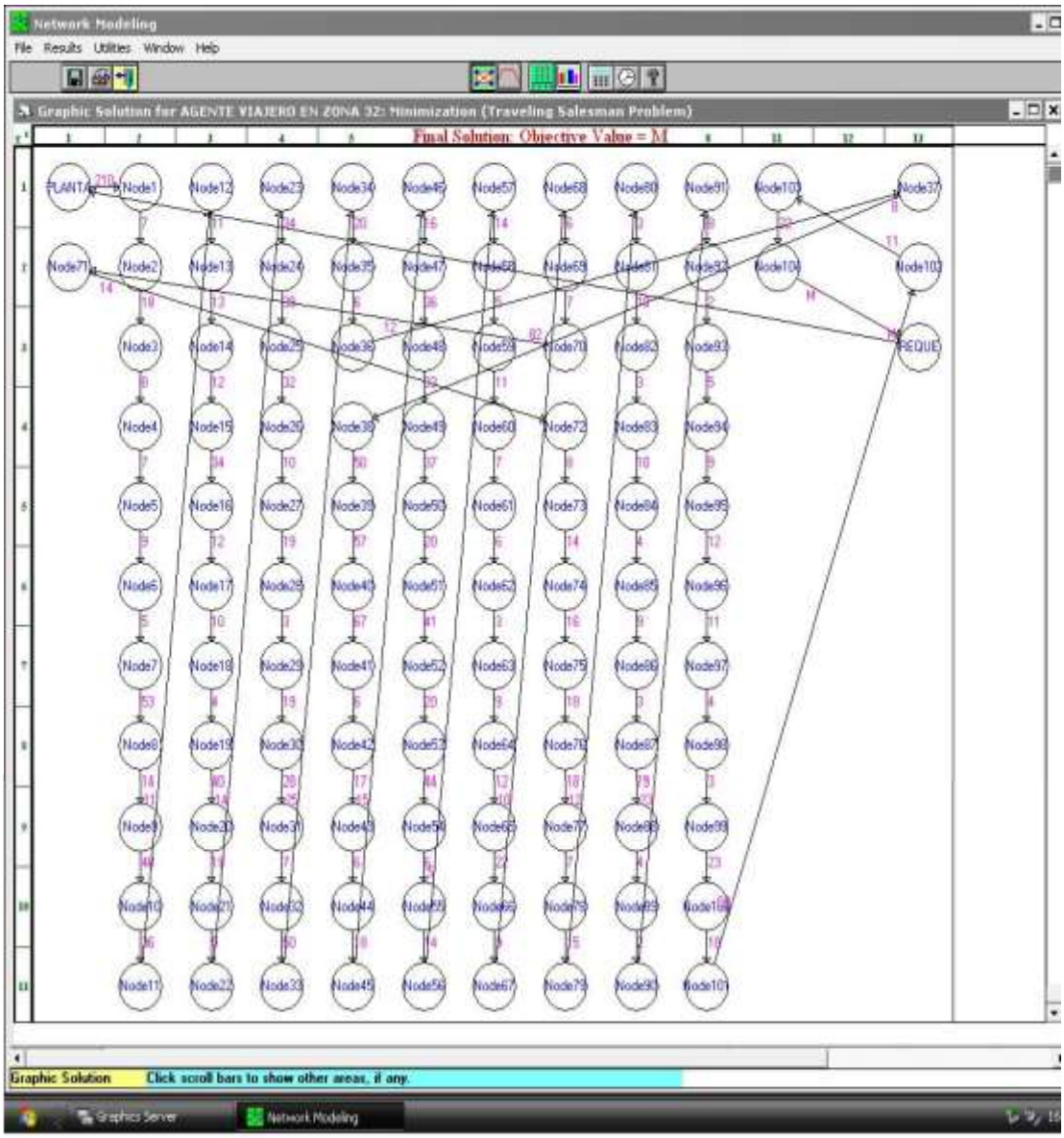


Figura 5.14. Solución grafica de nodos de ruta optima zona 32.

Fuente: Autores

Figura 5.15. Ruta optima con Modelo matemático en AutoCAD de zona 32.
Fuente: Autores

Resultado e Interpretación

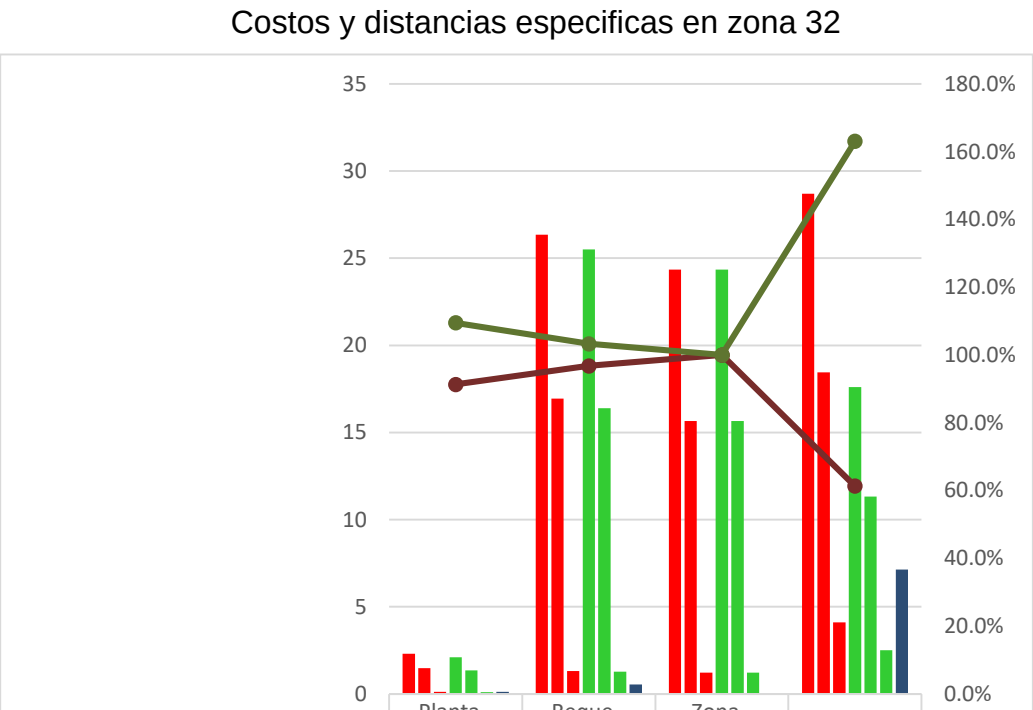
Anteriormente se indicó que las variables "Xij" fueron acomodadas en orden de acuerdo a su posición de la siguiente manera: X01=X1, X12=X2,...,X105=X75.

Por lo que la solución regresando a las variables iniciales queda de la siguiente forma:

La zona 32 es una de la céntrica de distrito de Chiclayo, que carece de una eficiente recolección de residuos porque no es atendida toda la calle por una falta de ruta definida. Los horarios de atención son de lunes a domingo de 9:00pm y 3:00am.

La recolección de residuos sólidos empieza en el nodo 1 ubicado en Av. Lora y lora y san José, luego pasa por a nodo 2, ubicado entre Elías Aguire y Av. Salaverry, seguido el nodo 3, 5, 7, 9,…104, finalizando la recolección en Av. Jose Balta y Av Garcilzado de la vega para luego dirigirse porla ruta mascorta hacia Reque.

Cabe mencionar que para realizar el recojo en esta zona la velocidad del compactador es de 7 kilómetros por hora en promedio, sumando la distancia de nodo a nodo y multiplicando las pasadas dobles, obtenemos 17.60 kilómetros como distancia total y culminada en un tiempo de 2.51 horas datos que nos indica que generaría 11.31 soles en coste de combustible por día que realizamos el servicio en esta zona.
A continuación observaremos la Tabla 5.31, donde se resumirán las distancias, tiempo y coste de combustible que genera su método de trabajo actual y la propuesta aplicada en la prueba piloto de la zona 32.



	Planta - Zona	Reque - Planta	Zona - Reque	Zona 32
Suma de Distancia Actual (KM)	2.3	26.35	24.35	28.7
Suma de Costo Actual S/.	S/.1.48	S/.16.94	S/.15.65	S/.18.45
Suma de Tiempo Actual (hr)	0.115	1.3175	1.2175	4.1
Suma de Distancia Propuesta (KM)	2.1	25.5	24.35	17.6
Suma de Costo Propuesto S/.	S/.1.35	S/.16.39	S/.15.65	S/.11.31
Suma de Tiempo Propuesto (hr)	0.105	1.275	1.2175	2.514285714
Suma de Variación	S/.0.13	S/.0.55	S/.-	S/.7.14
Promedio de Eficiencia Actual	91.3%	96.8%	100.0%	61.3%
Promedio de Eficiencia Propuesta	109.5%	103.3%	100.0%	163.1%

Figura 5.16. Costo y eficiencia de zona 32

Fuente: Autores

En la Figura 5.16 se detalla las distancias, tiempo y coste específicos que generan su método de trabajo actual y la propuesta aplicada en la prueba piloto de la zona 32.

Cabe mencionar que para realizar el recojo en esta zona la velocidad del compactador es de 7 kilómetros por hora en promedio, sumando la distancia de nodo a nodo y multiplicando las pasadas dobles, obtenemos 17.60 kilómetros como distancia total y culminada en un tiempo de 2.51 horas datos que nos indica que generaría S/ 11.31 en coste de combustible por día que realizamos el servicio en esta zona, El costo total Actual es de S/ S/. 52.52 representando una eficiencia promedio de 87.4%, mientras que nuestras propuesta es de S/. 44.71 para recolectar los residuos sólidos representando una eficiencia promedio de 119.0% desde Planta a zona, Zona, de Zona a Roque y de roque a Planta, notablemente se logrado el Objetivo de reducir el 10%.

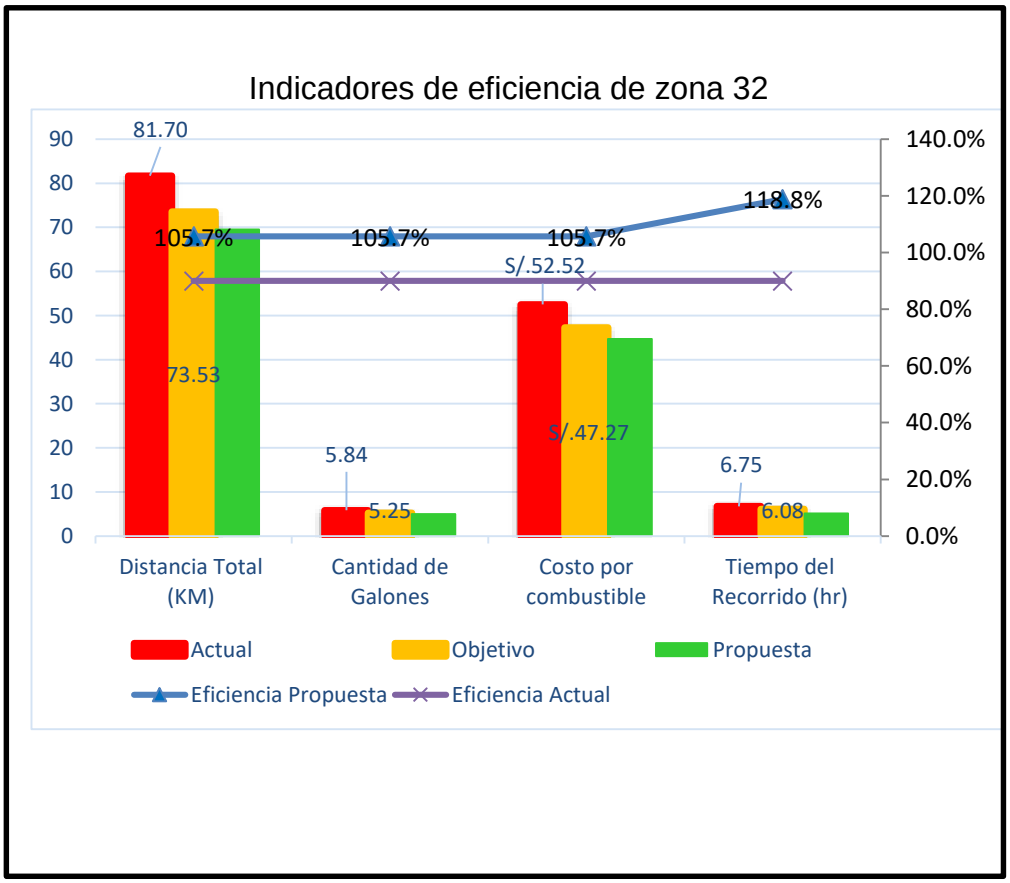


Figura 5.17. Eficiencia en zona 32.

Fuente: Autores

Tabla 5.5.

Beneficio por día en zona 32.

Mes	Distancia Total (KM)	Cantidad de Galones	Costo por combustible	Tiempo del Recorrido (hr)
Actual	81.70	5.84	S/. 52.52	6.75
Propuesta	69.55	4.97	S/. 44.71	5.11
Objetivo	73.53	5.25	S/. 47.27	6.08
Variación	12.15	0.87	7.81	1.64
Eficiencia Actual	90.0%	90.0%	90.0%	90.0%
Eficiencia Propuesta	105.7%	105.7%	105.7%	118.8%
Variación Eficiencia	15.72%	15.72%	15.72%	28.84%

Fuente: Autores

En la siguiente tabla detallamos el beneficio que se obtendría por día en la zona 32, comparando lo actual y lo propuesto según los indicadores distancia, cantidad de combustible, costo y tiempo; considerando para nuestro objetivo el 10 % según nuestros antecedentes para optimizar al máximo los recursos minimizando

costos. En la distancia, combustible, y costo se mejoró un 15.72%, mientras que el tiempo redujo un 28.84%, en promedio obtuvimos una eficiencia de 109.00%

5.2.2. Estudio de ruta Optima Zona 17

Para aplicar el método de la ruta más corta y el método del Agente Viajero (TSP) en la zona 17, es necesario colocar nodos en cada esquina, lo cual nos permitirá recoger la mayoría de la basura dentro del camino y tener visibilidad del recojo de basura en todas las calles, pues se podrá visualizar desde las esquinas si la basura de las calles ha sido recogida.

5.2.2.1. Ruta más corta de Planta hacia la Zona 17

La primera actividad inicia con un diseño de la ruta más corta que tiene como inicio en planta donde está instalada la Sub gerencia de residuos sólidos que está ubicado geográficamente en Av. Sáenz Peña y Calle Cahuide, como se muestra en la Figura 5.1, para luego llegar a su punto destino que está ubicado en la Av. Augusto B. Leguía y Av. Antonio Raymondi; existiendo 3 caminos para llegar del punto de origen al punto destino de la red.

Construcción de red según mapa geográfico

Figura 5.18. Red según mapa geográfico para definir la ruta más corta de planta a zona 17
Fuente: Autores

Como identificamos en la figura 5.18 existen 3 caminos para llegar al destino, lo cual están compuestos por 28 nodos ordenados según el sentido de la calle o avenida, además cada nodo marca una distancia entre uno y otro, cuya información será ingresada en el software de WinQSB; tomando en cuenta que todos los posibles caminos partirán del nodo 1 que es la planta donde se ubica el depósito de las maquinarias y el nodo 2 que es Av. Sáenz Peña y calle Cahuide; a partir del nodo 2 se forman tres caminos diferentes que nos llevaran al mismo destino que es el nodo 28; el primer camino parte en la misma dirección del nodo 2 que es la calle Cahuide donde ubicaremos los nodos 4, 7 y 10 donde se limitará al llegar al nodo 11 que estará ubicado en la calle Incanato y Av. Augusto B. Leguía, Avenida que será tomada por los nodos 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25 y 28; el segundo camino realiza la continuación del nodo 2 en dirección a la Av. Sáenz peña con los nodos 3 y 6 hasta limitarse con el nodo 9 que toma la calle José Pardo seguido por los nodos hasta limitarse con el nodo 20 que se dirige por la calle Alfonso Ugarte hasta el nodo 22 que prosigue el recorrido por la calle Cois con los nodos 24, 26, 27 y finalmente el nodo 28; el tercer recorrido también parte en dirección de la Av. Sáenz Peña del nodo 2, hasta limitarse con el nodo 3 que esta entre Av. Sáenz

Peña y Av. Augusto B. Leguía, luego continuará su recorrido en dirección de la Av. Augusto B. Leguía por los nodos 5, 8, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25 y llegar al nodo 28 que es el destino.

Base de datos de planta a zona 17 en WINQSB según red

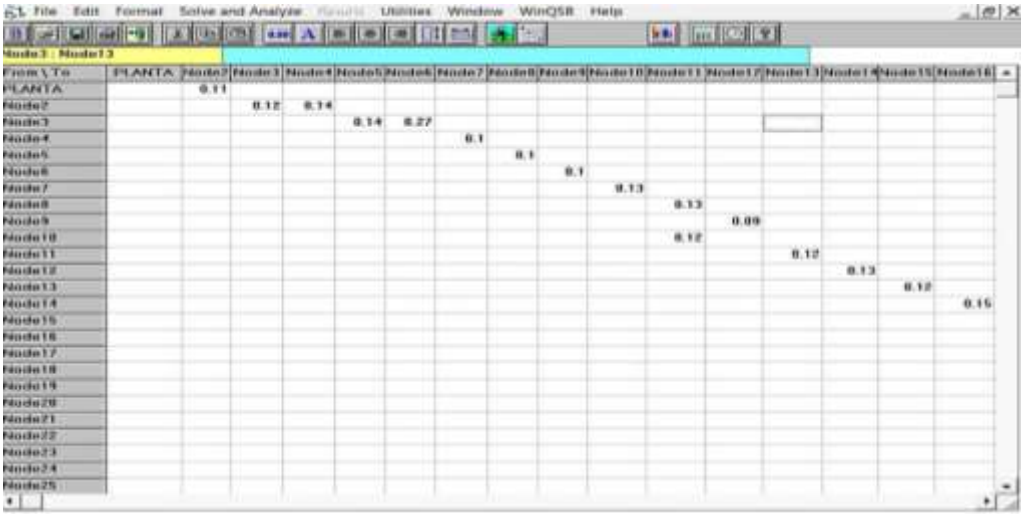


Figura 5.19. Nodos y distancia software WinQSB de planta a zona 17 según red.
Fuente: Autores

Luego a través de la opción Solve and Analyze de WinQSB, generaremos una tabla con la secuencia de nodos, que nos indicará cual es la ruta que nos conviene seguir para llegar en menos tiempo, distancia y costo a nuestro destino.

Solución de ruta más corta zona 17

Results Utilities Window Help

10-30-2015	From	To	Distance/Cost	Cumulative Distance/Cost
1	PLANTA	Node2	0.11	0.11
2	Node2	Node4	0.14	0.25
3	Node4	Node7	0.10	0.35
4	Node7	Node10	0.13	0.48
5	Node10	Node11	0.12	0.60
6	Node11	Node13	0.12	0.72
7	Node13	Node15	0.12	0.84
8	Node15	Node17	0.12	0.96
9	Node17	Node19	0.13	1.09
10	Node19	Node21	0.07	1.16
11	Node21	Node23	0.08	1.24
12	Node23	Node25	0.08	1.32
13	Node25	Node28	0.05	1.37

Figura 5.20. Ruta más corta de planta a zona 17.

Fuente: Autores

WinQSB, también nos permite recrear la gráfica todos los posibles caminos que podemos emplear para llegar a nuestro destino, sin embargo ya en la Figura N°5.3 nos definió que la ruta que nos convenía recorrer es partir de planta hacia el nodo 2, continuando por el nodo 4, 7 y 10; para luego bajar al nodo 11 que es Av. Augusto B. Leguía y finalmente nos llegará hasta el nodo 28 que es el nodo destino.

Añadiendo que el compactador según su ficha técnica nos indica que su máximo velocidad es 14 km por hora, cuya velocidad se puede aplicar en este tramo que tiene por distancia 1.38 km, que se puede recorrer en un tiempo de 0.07 horas, generando un costo de combustible de 0.89 soles por viaje.

Solución gráfica de la ruta más corta

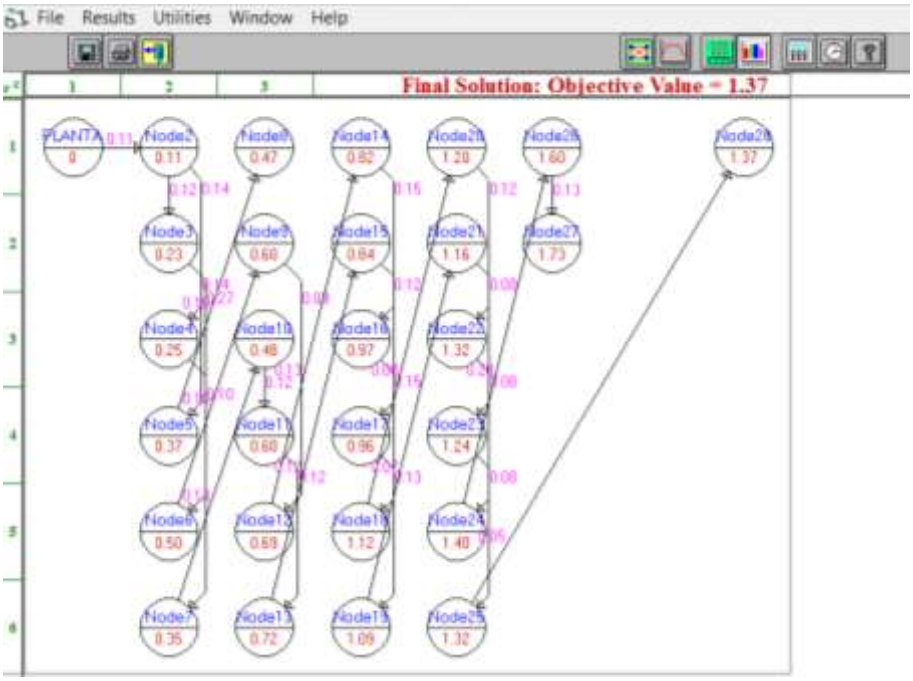


Figura 5.21. Solución objetivo de ruta más corta de planta a zona 17.
Fuente: Autores

5.2.2.2. Ruta más corta Zona 17 a botadero de Reque.

La ruta más corta de la zona 17 al botadero de Reque se realizará después de haber brindado el servicio eficiente de limpieza en la zona.

Para llegar a nuestro destino existen 5 caminos distintos, sin embargo cabe mencionar que estos caminos están constituidos por 13 nodos y marcados por una distancia determinada de nodo a nodo; como podremos visualizar en la figura N°5.5 el nodo origen se ubicó en donde finalizaría la ruta optima de la recolección que sería en Av. Salaverry y Av. José Leonardo Ortiz.

Construcción de red según mapa geográfico

Figura 5.22. Red según mapa geográfico para definir la ruta más corta de zona 17 a Reque
Fuente: Autores

La información de los nodos, secuencia y distancia de la figura N°5.5 tendremos que ingresada en el software de WinQSB como se observa en la Figura N°5.6; tomando en cuenta que todos los posibles caminos partirán del nodo 1 que está en Av. Salaverry y Av. José Leonardo Ortiz.; luego se presentan dos opciones a seguir que son el nodo 2 que se ubica entre Av. Bolognesi y Av. Miguel Grau o el nodo 3 que está ubicado entre Av. José Leonardo Ortiz y Av. Bolognesi, finalmente si optamos por el nodo 2 o 3 existe una coincidencia que tienen como cruce en el nodo 8 que está ubicado entre Av. Sáenz Peña y Av. Bolognesi; a partir del nodo 8 podemos observar que se despliegan dos rutas para llegar al nodo 13 que es el nodo que nos dirige al botadero Reque; sin embargo para

llegar al nodo 13 podemos seguir la secuencia de los nodos 4, 7, 11 y 12; la secuencia 8 y 10 o la secuencia de nodos 8 y 9.

Base de datos en WinQSB de Zona a Planta según Red

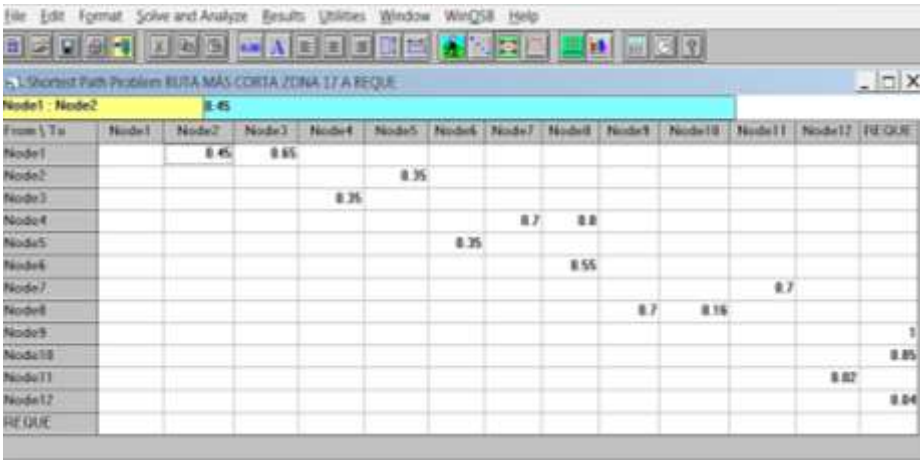
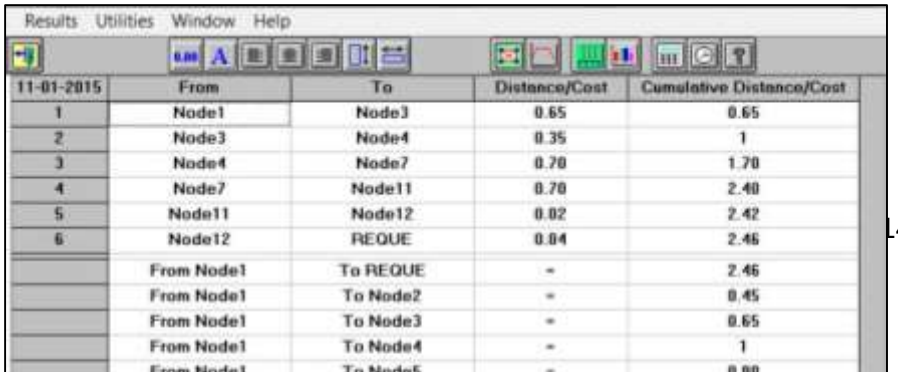


Figura 5.23. Nodos y distancia software WinQSB de zona 15 a Reque según red.
Fuente: Autores

Luego a través de la opción Solve and Analyze de WinQSB, generaremos una tabla con la secuencia de nodos, que nos indicará cual es la ruta que nos conviene seguir para llegar en menos tiempo, distancia y costo a nuestro destino.

Solución de la ruta más corta



Results Utilities Window Help

11-01-2015	From	To	Distance/Cost	Cumulative Distance/Cost
1	Node1	Node3	0.65	0.65
2	Node3	Node4	0.35	1
3	Node4	Node7	0.70	1.70
4	Node7	Node11	0.70	2.40
5	Node11	Node12	0.02	2.42
6	Node12	REQUE	0.04	2.46
	From Node1	To REQUE	-	2.46
	From Node1	To Node2	-	0.45
	From Node1	To Node3	-	0.65
	From Node1	To Node4	-	1
	From Node1	To Node5	-	0.80

Figura 5.24. Secuencia de nodos de ruta más corta de zona 17 a Reque
Fuente: Autores

WinQSB, también nos permite recrear la gráfica todos los posibles caminos que podemos emplear para llegar a nuestro destino, sin embargo ya en la Figura N°5.7 nos definió que la ruta que nos convenía recorrer es del nodo 1 hacia el nodo 3 que tiene una distancia 0.65 kilómetros, continuando por el nodo 4 con una distancia 0.35 kilómetros, luego seguir recorrido al nodo 7 con una distancia de 0.7 kilómetros hasta el nodo 11 con una distancia de 0.02 kilómetros y continuar al nodo 12 que marca una distancia de 0.04 que finalmente será quien se enlace al nodo destino que es el botadero de Reque con una distancia de 23.34 kilómetros.

La suma total de la ruta más corta desde la zona 17 hasta el botadero Reque es de 25.8 kilómetros, siendo esta la mejor alternativa para llegar a nuestro destino en el menor tiempo

que es de 1.29 horas generando un costo de combustible de 16.59 soles por viaje.

Representación gráfica de solución objetivo zona 17

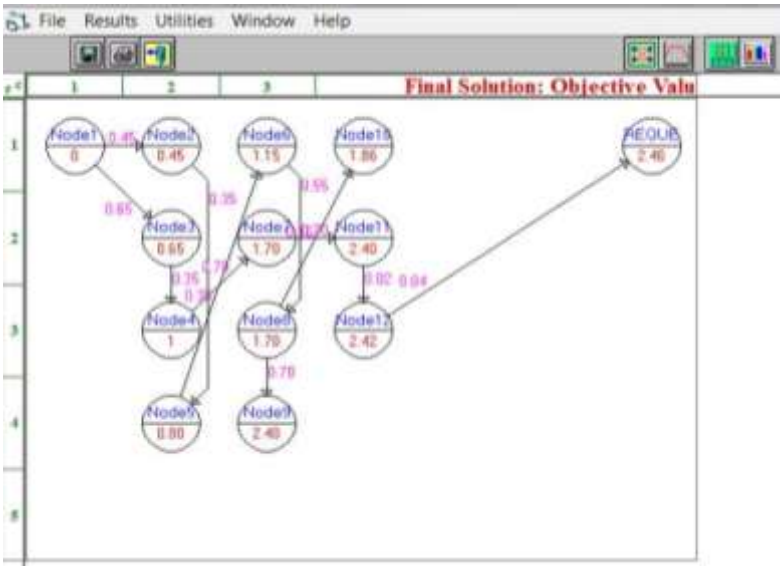


Figura 5.25. Solución grafica de zona 17 a Reque
Fuente: Autores

5.2.2.3. Aplicación del Agente Viajero en la Zona 17

En el diseño de la propuesta en graficada en AutoCAD se ha determinado que cada línea punteada indicaría que el vehículo pasará pero no realizará recojo de basura, además el nodo origen y el nodo final del recorrido tiene como sustento la proximidad de distancia entre la planta y el botadero de Reque, además cabe recalcar que para la zona 17 se presentó la coincidencia que la ruta antigua y la propuesta tienen la misma ubicación de sus nodos origen y final.

A partir de esta información, se sustenta que la función objetivo es minimizar distancia total recorrida realizando un

eficiente servicio de limpieza en la zona, cabe recalcar que la compactadora tiene que dejar limpia la zona, sin embargo no necesariamente significa que tiene que recorrer absolutamente todas las calles o pasajes, puesto que observaremos en la Figura N°5.8 entre los nodos 13 y 19 calle las campanillas o el nodo 37 y 50 pasaje Pedro Ruiz; son espacios reducidos que dificultan el pase de un compactador, cuyos lugares serán atendidos por un barredor o muy poco común por una motocar.

Las restricciones que tomaremos en cuenta para realizar un servicio óptimo en la zona 17, son las siguientes:

Primero, la compactadora debe cruzar los 123 nodos del mapa, para esta restricción se tendrá en cuenta la secuencia de los nodos según el sentido de la calle o avenida.

Segundo si fuera el caso que el software nos arroja datos de un nodo que no tenga continuidad, generará que haya máximo doble pasadas del vehículo; para lo cual tendremos que considerar que en una pasada realizaremos el servicio y en la siguiente es solo el pase para llegar al nodo indicado por el software que estará señalizado por una línea punteada.

Como base partiremos por visualizar la Figura 5.9 en la cual se la ruta del recojo actual de la Zona 17, plano que hemos incorporado los nodos y marcado las distancias para identificar fácilmente cuantos kilómetros hay de nodo a nodo o la distancia total que consta de 12.83 kilómetros; además se realiza en un tiempo de 4.47 horas y genera un costo de 42.12 soles por viaje.

Figura 5.26. Ruta actual en Auto CAD Zona 17.
Fuente: Institución de Chiclayo Limpio

La información obtenida en el mapa anterior será ingresada en el Sowftare WinQSB, la cual está programada para ser analizada por el modelo del Agente viajero (TSP), teniendo como función objetivo minimizar las distancias, por ende minimizará el tiempo y costo de combustible.

Tablas con las distancias de 123 nodos, AUTOCAD actual A3

Figura 5.27 Base de datos en WinQSB de distancias de los nodos de la zona 17
Fuente: Autores

Luego a través de la opción Solve and Analyze de WinQSB, se generará una tabla que a través de la secuencia de nodos nos indicará cual es la ruta que debemos seguir para llegar realizar un servicio de limpieza más eficiente, pasando por la mayoría de calles y Avenidas de la zona 17.

Solución de la ruta más corta zona 17 parte 1

Format Results Utilities Window Help

10-28-2015	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Planta	1	1.38	64	21	15	0.049
2	1	2	0.06	65	15	9	M
3	2	5	0.078	66	9	6	M
4	5	8	0.06	67	6	16	0.09
5	8	11	0.05	68	16	27	0.05
6	11	10	0.064	69	27	40	0.086
7	10	7	0.06	70	40	61	0.06
8	7	5	M	71	61	75	0.08
9	5	4	0.214	72	75	78	0.06
10	4	3	0.025	73	78	79	0.06
11	3	14	0.06	74	79	84	0.06
12	14	13	0.03	75	84	80	0.02
13	13	12	0.03	76	80	66	0.06
14	12	18	0.08	77	66	67	0.04
15	18	24	0.08	78	67	71	0.057
16	24	33	0.08	79	71	72	0.07
17	33	34	0.06	80	72	82	0.1
18	34	25	0.03	81	82	83	0.07
19	25	19	0.03	82	83	73	0.057
20	19	20	0.05	83	73	81	0.1
21	20	35	0.045	84	81	69	0.06
22	35	37	0.04	85	69	74	0.051
23	37	36	0.071	86	74	93	0.051
24	36	50	0.04	87	93	104	0.07
25	50	51	0.045	88	104	99	0.07
26	51	55	0.05	89	99	92	0.09
27	55	56	0.08	90	92	85	0.02

Figura 5.28 Solución en software WinQSB zona 17 parte 1
Fuente: Autores

Solución de la ruta más corta zona 17 parte 2

Format Results Utilities Window Help

10-28-2015	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
27	55	56	0.08	90	92	85	0.02
28	55	56	0.059	91	85	91	0.08
29	56	58	0.071	92	91	86	0.05
30	58	59	0.08	93	86	103	0.073
31	59	60	0.115	94	103	102	0.13
32	60	45	M	95	112	102	M
33	45	46	0.06	96	102	100	0.078
34	46	47	0.04	97	100	87	0.038
35	47	54	0.04	98	87	64	0.068
36	54	53	0.1	99	64	101	0.12
37	53	57	M	100	101	90	0.25
38	57	52	M	101	90	113	0.14
39	52	49	M	102	113	76	0.12
40	49	38	M	103	76	88	0.14
41	38	48	M	104	88	89	0.12
42	48	32	0.053	105	89	114	0.12
43	32	39	0.12	106	114	111	0.11
44	39	31	0.55	107	111	115	M
45	31	30	M	108	115	120	0.09
46	30	23	0.07	109	120	121	M
47	23	22	0.07	110	121	119	0.08
48	22	16	0.04	111	119	122	M
49	16	17	M	112	122	123	0.11
50	17	29	M	113	123	118	0.07
51	29	28	M	114	118	116	0.06
52	28	41	0.02	115	116	110	M
53	41	44	0.04	116	110	98	M

Figura 5.29.Solución en software WinQSB zona 17 parte 2

Fuente: Autores

Solución de la ruta más corta zona parte 3

Format Results Utilities Window Help

10-28-2015	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
40	49	38	M	103	76	88	0.14
41	38	48	M	104	88	89	0.12
42	48	32	0.053	105	89	114	0.12
43	32	39	0.12	106	114	111	0.11
44	39	31	0.55	107	111	115	M
45	31	30	M	108	115	120	0.09
46	30	23	0.07	109	120	121	M
47	23	22	0.07	110	121	119	0.08
48	22	16	0.04	111	119	122	M
49	16	17	M	112	122	123	0.11
50	17	29	M	113	123	118	0.07
51	29	28	M	114	118	116	0.06
52	28	41	0.02	115	116	110	M
53	41	44	0.04	116	110	117	M
54	44	62	0.09	117	117	107	M
55	44	62	M	118	107	96	M
56	62	77	0.08	119	96	95	0.051
57	77	63	0.03	120	95	94	0.051
58	63	65	M	121	94	97	0.056
59	65	43	0.09	122	97	106	M
60	43	42	0.03	123	106	68	M
61	42	26	0.095	124	68	Reque	25.8
62	26	21	M	125	Reque	Planta	25.5
63	21	15	M				
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	-	M
	(Result	from	Nearest	Neighbor	Heuristic)		

Figura 5.30. Nodos y distancia software WinQSB de planta a zona 17 según red.
Fuente: Autores

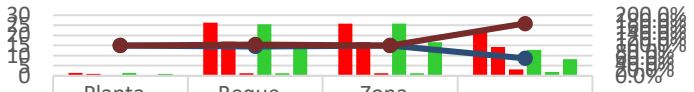
A partir de esta información realizaremos el diseño de la ruta óptima para el recojo de basura, en el plano que fue diseñado por la institución de Chiclayo Limpio.

Figura 5.31. Ruta optima con Modelo matemático en AutoCAD zona 17.
Fuente: Autores

La zona 17 es una de las zonas que se encuentra alejada del centro de Chiclayo, esto significa que carece de un eficiente servicio de limpieza o podríamos afirmar que algunos días no es atendida; sin embargo en el registro de los supervisores observaremos que la zona debería recibir el servicio de lunes a domingo entra las 9:00pm y 3:00am.

El nodo de origen para comenzar la ruta de recolección en la zona está ubicado entre la Av. Fernando Belaunde Terry y Calle Las Amapolas como referencia tomar al óvalo de paradero los Pueblos; recorrido que finalizaría entre Avenida Felipe Santiago Salaverry y Av. José Eufemio Lora y Lora como referencia esta la empresa de Transportes Chiclayo.

Costos y distancias especiales en zona 17



	Planta - Zona	Reque - Planta	Zona - Reque	Zona 17
Suma de Distancia Actual (KM)	1.38	26.35	25.8	22.16
Suma de Costo Actual S/.	0.89	16.94	16.59	14.25
Suma de Tiempo Actual (hr)	0.07	1.32	1.29	3.17
Suma de Distancia Propuesta (KM)	1.38	25.50	25.80	12.83
Suma de Tiempo Propuesto (hr)	0.07	1.28	1.29	1.83
Suma de Costo Propuesto S/.	S/.0.89	S/.16.39	S/.16.59	S/.8.25
Promedio de Eficiencia Actual	100.0%	96.8%	100.0%	57.9%
Promedio de Eficiencia Propuesta	100.0%	103.3%	100.0%	172.7%

Figura 5.32. Costo y eficiencia zona 17.
Fuente: Autores

En la Figura 5.32 se detalla las distancias, tiempo y coste específicos que generan su método de trabajo actual y la propuesta aplicada en la prueba piloto de la zona 17.

Cabe mencionar que para realizar el recojo en esta zona la velocidad del compactador es de 7 kilómetros por hora en promedio, sumando la distancia de nodo a nodo y multiplicando las pasadas dobles, obtenemos 12.83 kilómetros como distancia total y culminada en un tiempo de 1.83 horas datos que nos indica que generaría 8.25 soles en coste de combustible por día que realizamos el servicio en esta zona, El costo total Actual es de S/ 48.66 representando una eficiencia promedio de 88.7%, mientras que nuestras propuesta es de S/ 42.12 Soles para recolectar los residuos sólidos representando una eficiencia promedio de 119.0% desde Planta a zona, Zona, de Zona a Roque y de roque a Planta, notablemente se logrado el Objetivo de reducir el 10%.

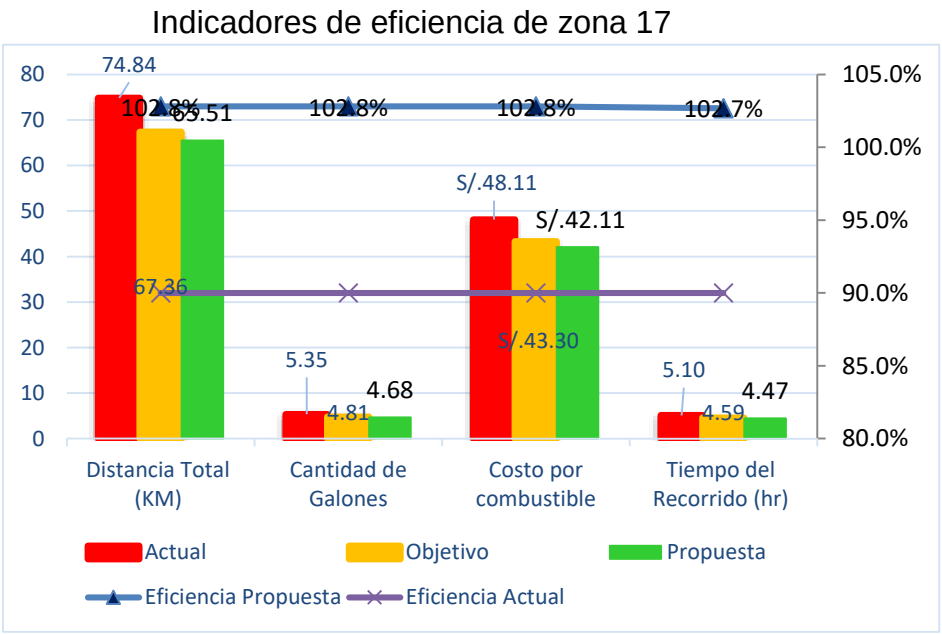


Figura 5.33. Eficiencia zona 17.
Fuente: Autores

Tabla 5.6.

Beneficio por día en zona 17.

Mes	Distancia Total (KM)	Cantidad de Galones	Costo por combustible	Tiempo del Recorrido (hr)
Actual	75.69	5.41	S/. 48.66	5.84
Propuesta	65.51	4.68	S/. 42.11	4.47
Objetivo	68.12	4.87	S/. 43.79	5.26
Variación	10.18	0.73	S/. 6.54	1.37
Eficiencia Actual	90%	90%	90%	90%
Eficiencia Propuesta	104.0%	104.0%	104.0%	117.6%
Variación Eficiencia	13.99%	13.99%	13.99%	27.63%

Fuente: Autores

En la tabla 5.1 detallamos el beneficio que se obtendría por día en la zona 17, comparando lo actual y lo propuesto según los indicadores distancia, cantidad de combustible, costo y tiempo; considerando para nuestro objetivo el 10 % según nuestros antecedentes para optimizar al máximo los recursos minimizando costos. En la distancia, combustible, y costo se mejoró un 13.99%, mientras que el tiempo redujo un 27.63%, en promedio obtuvimos una eficiencia de 107.4%

5.3. Aplicación del Método matemático para la distribución de compactadoras por Zona.

Para realizar la distribución de compactadoras se tomó el modelo matemático, problema del transporte o distribución, que se funda en la necesidad de llevar unidades de un punto específico llamado Fuente que viene a ser, las 8 compactadoras hacia otro punto específico llamado Destino que serían las 16 Zonas. Los principales objetivos de este modelo de transporte son la satisfacción de todos los requerimientos establecidos por los destinos y claro está la minimización de los costos relacionados

con el plan determinado por las rutas escogidas. Por ende estaríamos atendiendo a las zonas eficientemente. Unas de Sus restricciones es que la matriz tiene que estar balanceada es decir la Oferta debe ser igual a la demanda.

Las variables Xij representarán a las compactadoras y a las zonas destinos que se derivaran.

En este caso, el número de orígenes es i= 6,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,29,30,31,32 y el número de destinos es j=1,3,17,19,20,23,25,26.

Tabla 5.7.

Costo y capacidad de zona por compactador

Comp/ Zona	6	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	29	30	31	32
1	27.7	25	24.9	24.4	27	26	25.3	22.4	27.4	28	27	28.7	28	29.3	27.5	29
3	27.9	28.1	24.1	28.3	28.6	29	32	28	28	29	31	37	33	35	27.7	29
17	33	32.3	33.2	32	22.5	33	34.4	36	32	33	34.4	35.6	34	35	36	31.2
19	24.4	25	25.4	23.8	24	25	20.6	25	26	26	23.24	27	26.5	27	25	36
20	25	24.8	25	26	26	27	27.8	28	22.4	27.8	25.7	24.17	30	27	27	29
23	21.9	24	24	23.5	23	21.9	23.5	24	26	23.9	34	27	25	24	26	27.9
25	25	26	27	28	26	26	25	25	27	24.2	28	29	23.3	30	31.1	30.2
26	27	18.8	25	26	26.5	27.6	27.3	27	27	25	25	27.4	25	24.2	25	26

Fuente: Autores

De la tabla de costos presentada se obtiene los costos Cij y con éstos se forma la función objetivo (Zmin):

$$Z\min = \sum_{i=6}^{16} \sum_{j=1}^{8} Cij\ Xij = 27.7X_{61} + 25X_{63} + 24.9X_{617} + 27X_{619} + \cdots$$

Sujeto a: Xij >= 0 para toda i=6,17,18,19… ; j=1,3,17,19…

Tabla 5.8.

Equidad de costo y capacidad de zona por compactador

Compa/Zona	6	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	29	30	31	32	Z-00	Cap. Compa.
1	27.7	25	24.9	24.4	27	26	25.3	22.4	27.4	28	27	28.7	28	29.3	27.5	29	0	**6.5**
3	27.9	28.1	24.1	28.3	28.6	29	32	28	28	29	31	37	33	35	27.7	29	0	**6.5**
17	33	32.3	33.2	32	22.5	33	34.4	36	32	33	34.4	35.6	34	35	36	31.2	0	**8**
19	24.4	25	25.4	23.8	24	25	20.6	25	26	26	23.24	27	26.5	27	25	36	0	**8**
20	25	24.8	25	26	26	27	27.8	28	22.4	27.8	25.7	24.17	30	27	27	29	0	**10**
23	21.9	24	24	23.5	23	21.9	23.5	24	26	23.9	34	27	25	24	26	27.9	0	**7.5**
25	25	26	27	28	26	26	25	25	27	24.2	28	29	23.3	30	31.1	30.2	0	**7.5**
26	27	18.8	25	26	26.5	27.6	27.3	27	27	25	25	27.4	25	24.2	25	26	0	**7.5**
Cap. Zona	**4.5**	**3.6**	**2.7**	**2**	**3.6**	**2.5**	**3.2**	**4**	**3.9**	**3.4**	**4.1**	**4.2**	**3.7**	**3**	**3.8**	**3.8**	**5.5**	

Fuente: Autores

El valor de la Penalización = (+); dado que se resta el valor mayor menos el menor

Compa/Zona	6	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	29	30	31	32	Z-00	Capacidad de Compa.	Penalización
1	27.7	25	24.9	24.4	27	26	25.3	22.4	27.4	28	27	28.7	28	29.3	27.5	29	0	**6.5**	**29.3**
3	27.9	28.1	24.1	28.3	28.6	29	32	28	28	29	31	37	33	35	27.7	29	0	**6.5**	**37**
17	33	32.3	33.2	32	22.5	33	34.4	36	32	33	34.4	35.6	34	35	36	31.2	0	**8**	**36**
19	24.4	25	25.4	23.8	24	25	20.6	25	26	26	23.24	27	26.5	27	25	36	0	**8**	**36**
20	25	24.8	25	26	26	27	27.8	28	22.4	27.8	25.7	24.17	30	27	27	29	0	**10**	**30**
23	21.9	24	24	23.5	23	21.9	23.5	24	26	23.9	34	27	25	24	26	27.9	0	**7.5**	**34**
25	25	26	27	28	26	26	25	25	27	24.2	28	29	23.3	30	31.1	30.2	0	**7.5**	**31.1**
26	27	18.8	25	26	26.5	27.6	27.3	27	27	25	25	27.4	25	24.2	25	26	0	**7.5**	**27.6**
Cap. Zona	**4.5**	**3.6**	**2.7**	**2**	**3.6**	**2.5**	**3.2**	**4**	**3.9**	**3.4**	**4.1**	**4.2**	**3.7**	**3**	**3.8**	**3.8**	**5.5**		
	11.1	**13.5**	**9.2**	**8.5**	**6.1**	**11.1**	**13.8**	**13.6**	**9.6**	**9.1**	**11.16**	**12.83**	**10.7**	**11**	**11**	**10**	**0**		

Tabla 5.9.

Resumen de solución de distribución de transporte

Para automatizar la distribución de las compactadoras también se utilizó una herramienta WINQSB

Base de datos para la distribución de compactadoras según su oferta y demanda

Network Modeling

File Edit Format Solve and Analyze Results Utilities Window WinQSB Help

ASIGNACIÔN DE COMPACTADORAS: Minimization (Transportation Problem)

COMP 19 : Z-20 22,5

From \ To	Z-17	Z-18	Z-19	Z-20	Z-21	Z-22	Z-23	Z-24	Z-25	Z-26	Z-27	Z-29	Z-30	Z-31	Z-32	Supply
COMP 1	18,8	24,1	24,4	22,5	21,9	20,6	22,4	22,4	24,2	23,24	24,175	23,3	24,2	27,7	31,2	6,5
COMP 3	18,8	24,1	24,4	22,5	21,9	20,6	22,4	22,4	24,2	23,24	24,175	23,3	24,2	27,7	31,2	6,5
COMP 17	18,8	24,1	24,4	22,5	21,9	20,6	22,4	22,4	24,2	23,24	24,175	23,3	24,2	27,7	31,2	8
COMP 19	18,8	24,1	24,4	22,5	21,9	20,6	22,4	22,4	24,2	23,24	24,175	23,3	24,2	27,7	31,2	8
COMP 20	18,8	24,1	24,4	22,5	21,9	20,6	22,4	22,4	24,2	23,24	24,175	23,3	24,2	27,7	31,2	10
COMP 23	18,8	24,1	24,4	22,5	21,9	20,6	22,4	22,4	24,2	23,24	24,175	23,3	24,2	27,7	31,2	7,5
COMP 25	18,8	24,1	24,4	22,5	21,9	20,6	22,4	22,4	24,2	23,24	24,175	23,3	24,2	27,7	31,2	7,5
COMP 26	18,8	24,1	24,4	22,5	21,9	20,6	22,4	22,4	24,2	23,24	24,175	23,3	24,2	27,7	31,2	7,5
Demand	4	3	2,3	3,9	2,9	3,6	4,4	4,3	3,8	4,5	4,5	4	3,3	3,9	4,2	

Figura 5.34. Base de datos de costo, oferta y demanda por zona.
Fuente: Autores

Solución de la distribución de compactadoras de residuos solidos

Window Help

ÔN DE COMPACTADORAS: Minimization (Transportation Problem)

11-01-2015	From	To	Shipment	Unit Cost	Total Cost	Reduced Cost
1	COMP 1	Z-19	0,3	24,40	7,32	0
2	COMP 1	Z-23	1,9	22,40	42,56	0
3	COMP 3	Z-18	3	24,10	72,30	0
4	COMP 3	Z-31	3,2	27,70	88,64	0
5	COMP 17	Z-20	2,1	22,50	47,25	0
6	COMP 17	Z-32	4,2	31,20	131,04	0
7	COMP 19	Z-22	2,5	20,60	51,50	0
8	COMP 19	Z-26	4,5	23,24	104,58	0
9	COMP 20	Z-24	4,3	22,40	96,32	0
10	COMP 20	Z-27	4,4	24,17	106,37	0
11	COMP 23	Z-06	4,8	24,50	117,60	0
12	COMP 23	Z-21	2,9	21,90	63,51	0
13	COMP 25	Z-25	3,8	24,20	91,96	0
14	COMP 25	Z-29	2,6	23,30	60,58	0
15	COMP 26	Z-17	4	18,80	75,20	0
16	COMP 26	Z-30	3,3	24,20	79,86	0
	Total	Objective	Function	Value =	1.458,98	

Figura 5.35. Solución de la distribución de compactadoras.

Fuente: Autores

En la figura 5.32 se obtiene la solución de distribución optima de la compactadoras, donde cada compactador atenderá 2 zonas por turno considerando su capacidad de acuerdo a la oferta y la demanda por zona, en la Figura N° 5.30 se obtiene la representación gráfica de la distribución de compactadoras.

Solución grafica de distribución de compactadoras

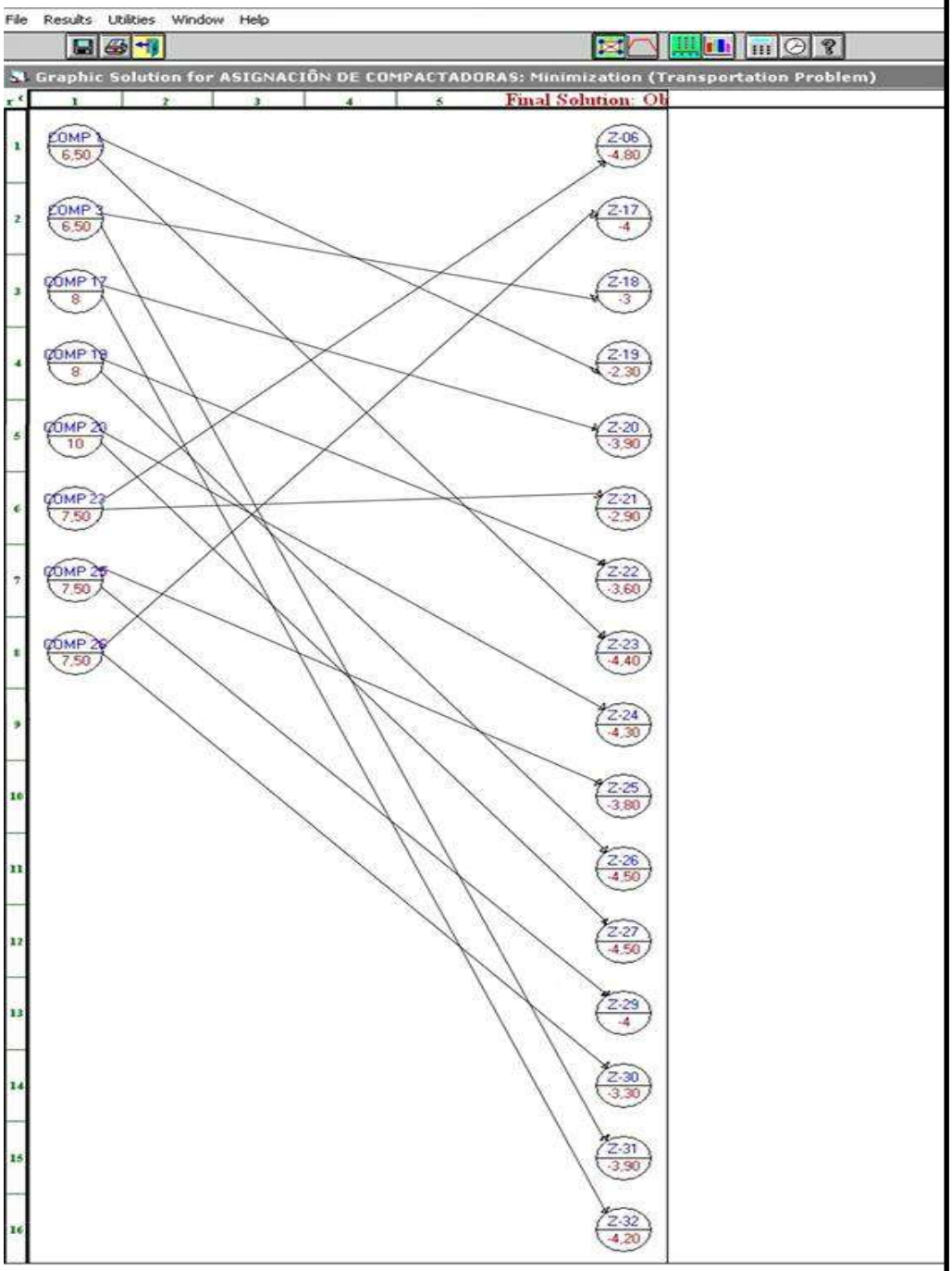


Figura 5.36. Distribución de compactadoras según su capacidad y demanda.

Fuente: Autores

5.4. Resultados de la mejora en las Zonas 17 y 32

Tabla 5.10.

Detalle del estudio en la zona 17 actual y propuesto

Zona 17	Velocidad Constante (KM/H)	Distancia Actual (KM)	Costo Actual S/:	Tiempo Actual (hr)	Distancia Propuesta (KM)	Costo Propuesto S/.	Tiempo Propuesto (hr)	Eficiencia Actual	Eficiencia Propuesta	%Δ Ef.
Planta - Zona	20	1.38	S/. 0.89	0.07	1.38	S/. 0.89	0.07	100.00%	100.00%	0.00%
Reque - Planta	20	26.35	S/. 16.94	1.32	25.50	S/. 16.39	1.28	96.77%	103.33%	6.56%
Zona - Reque	20	25.80	S/. 16.59	1.29	25.80	S/. 16.59	1.29	100.00%	100.00%	0.00%
Zona 17	7	22.16	S/. 14.25	3.17	12.83	S/. 8.25	1.83	57.92%	172.67%	114.75%
Total general	**67**	**75.69**	**S/. 48.66**	**5.84**	**65.51**	**S/. 42.12**	**4.47**	**88.67%**	**119.00%**	**30.33%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.5 detallamos la diferencia entre eficiencia Actual y Propuestas según costos, Kilometraje y tiempo se mejoró la eficiencia un 30.33%, considerando una velocidad constante de 20 Km/h para dirigirse de planta a zona, Zona a Reque, Zona a Reque, Mientras que para realizar el servicio de recolección se corre a una velocidad de 7Km/h

Tabla 5.11.

Detalle del estudio en la zona 32 actual y propuesto

Etiquetas de fila	Velocidad Constante (KM/H)	Distancia Actual (KM)	Costo Actual S/.	Tiempo Actual (hr)	Distancia Propuesta (KM)	Costo Propuesto S/.	Tiempo Propuesto (hr)	Eficiencia Actual	Eficiencia Propuesta	%Δ Ef.
Planta - Zona	20	2.30	S/. 1.48	0.12	2.10	S/. 1.35	0.11	91.3%	109.5%	18.2%
Reque - Planta	20	26.35	S/. 16.94	1.32	25.50	S/. 16.39	1.28	96.8%	103.3%	6.6%
Zona - Reque	20	24.35	S/. 15.65	1.22	24.35	S/. 15.65	1.22	100.0%	100.0%	0.0%
Zona 32	7	28.70	S/. 18.45	4.10	17.60	S/. 11.31	2.51	61.3%	163.1%	101.7%
Total general	**67**	**81.70**	**S/. 52.52**	**6.75**	**69.55**	**S/. 44.71**	**5.11**	**87.4%**	**119.0%**	**31.6%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.4 detallamos la diferencia entre eficiencia Actual y Propuestas según costos, Kilometraje y tiempo se mejoró la eficiencia un 31.6 %, considerando una velocidad constante de 20 Km/h para dirigirse de planta a zona, Reque a Planta, Zona a Reque, Mientras que para realizar el servicio de recolección se corre a una velocidad de 7Km/h

La eficiencia de kilometro/día redujo 22.33 Km, mientras que en un mes representa 692.11Km, en un Año sería 8148.99 Km, si lo proyectamos a 10 años reduciríamos 81, 546.70 Km, mejorando nuestra eficiencia de 90.00% a 104.9% con una variación promedio de 14.9%. Así como lo de tallamos en las Tablas 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, por Día, Mes, Año, y en 10 Años Respectivamente, para ello Utilizamos la Siguiente Formula

$$\boldsymbol{Eficiencia\ Distancia} = \frac{Distancia\ Ideal}{Distancia\ Real}$$

Tabla 5.12.
Eficiencia km Zona/Día

Zonas	Actual Km	Propuesta Km	Reducción Km	Objetivo Km	EF. Actu km	EF.Pro Km	%Δ Ef.
17	75.69	65.51	10.18	68.12	90.0%	104.0%	14.0%
32	81.70	69.55	12.15	73.53	90.0%	105.7%	15.7%
Total general	**157.39**	**135.06**	**22.33**	**141.65**	**90.0%**	**104.9%**	**14.9%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.5 detallamos la eficiencia por día en Kilometraje mejoro un 14.9%, siendo la Zona 17 y 32, Mejorando 14.0% y 15.9 % Respectivamente, Representando una reducción de 22.33 Km/ Día

Tabla 5.13.
Eficiencia Km Zona/Mes

Zonas	Actual Km	Propuesta Km	Reducción Km	Objetivo Km	EF. Actu km	EF.Pro Km	%Δ Ef.
17	2,346.39	2,030.93	315.46	2,111.75	90.0%	104.0%	14.0%
32	2,532.70	2,156.05	376.65	2,279.43	90.0%	105.7%	15.7%
Total general	**4,879.09**	**4,186.98**	**692.11**	**4,391.18**	**90.0%**	**104.9%**	**14.9%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.6 detallamos la eficiencia por Mes en Kilometraje mejoro un 14.9%, siendo la Zona 17 y 32, Mejorando 14.0% y 15.9 % Respectivamente, Representando Una reducción de 692.11Km/ Mes

Tabla 5.14.

Eficiencia Km Zona/Año

Zonas	Actual Km	Propuesta Km	Reducción Km	Objetivo Km	EF. Actu km	EF.Pro Km	%Δ Ef.
17	27,626.85	23,912.61	3,714.24	24,864.17	90.0%	104.0%	14.0%
32	29,820.50	25,385.75	4,434.75	26,838.45	90.0%	105.7%	15.7%
Total general	**57,447.35**	**49,298.36**	**8,148.99**	**51,702.62**	**90.0%**	**104.9%**	**14.9%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.7 detallamos la eficiencia en 1 años en Kilometraje mejoro un 14.9%, siendo la Zona 17 y 32, Mejorando 14.0% y 15.9 % Respectivamente, Representando Una reducción de 8,148.99Km/ Año

Tabla 5.15.

Eficiencia Km Zona/10 Años

Zonas	Actual Km	Propuesta Km	Reducción Km	Objetivo Km	EF. Actu km	EF.Pro Km	%Δ Ef.
17	276,419.88	239,257.13	37,162.75	248,777.89	90.0%	104.0%	14.0%
32	298,450.10	254,066.15	44,383.95	268,605.09	90.0%	105.7%	15.7%
Total general	**574,869.98**	**493,323.28**	**81,546.70**	**517,382.98**	**90.0%**	**104.9%**	**14.9%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.8 detallamos la eficiencia en 10 años en Kilometraje mejoro un 14.9%, siendo la Zona 17 y 32, Mejorando 14.0% y 15.9 % Respectivamente, Representando Una reducción de 81,546.70Km/ 10 Años

La eficiencia de tiempo empleado para realizar el servicio de basura redujo 3.01 Hr/Día, en un mes 93.40Hr/mes, en un año representa 1099.75Hr, proyectándolo a 10 años se estaría reduciendo 11.005.11Hr. Mejorando una eficiencia de 90.00% a 118.27% con una variación de 28.27%, Así como lo de tallamos en las Tablas N° 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, por Día, Mes, Año, y en 10 Años Respectivamente, para ello utilizamos la siguiente formula.

$$\boldsymbol{Eficiencia\ Tiempo} = \frac{Tiempo\ Ideal}{Tiempo\ Real\ Empleado}$$

Tabla 5.16

Eficiencia de tiempo empleado en una Zona/Día

Zonas	Tiempo Actual Hr	Tiempo Propuesto Hr	Tiempo Reducido hr	Obj. Tiempo	EF. Actual	EF Propuesta	%Δ Ef.
17	5.84	4.47	1.37	5.26	90.00%	117.70%	27.70%
32	6.75	5.11	1.64	6.08	90.00%	118.84%	28.84%
Total general	**12.59**	**9.58**	**3.01**	**11.33**	**90.00%**	**118.27%**	**28.27%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.9 detallamos la eficiencia de tiempo empleado para realizar el servicio de una Zona /Día mejoro un 28.27%, siendo la Zona 17 y 32, Mejorando 27.70% y 28.84 % Respectivamente, Representando Una reducción de 3.01 Hr/ Día

Tabla 5.17.

Eficiencia de tiempo empleado en una Zona/Mes

Zonas	Tiempo Actual Hr	Tiempo Propuesto Hr	Tiempo Reducido hr	Obj. Tiempo	EF. Actual	EF Propuesta	%Δ Ef.
17	181.11	138.49	42.62	163.00	90.00%	117.70%	27.70%
32	209.25	158.47	50.78	188.33	90.00%	118.84%	28.84%
Total general	**390.36**	**296.96**	**93.40**	**351.32**	**90.00%**	**118.27%**	**28.27%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.10 detallamos la eficiencia de tiempo empleado para realizar el servicio de una Zona /Mensual mejoro un 28.27%, siendo la Zona 17 y 32, Mejorando 27.70% y 28.84 % Respectivamente, Representando Una reducción de 93.40 Hr/ Mes

Tabla 5.18.

Eficiencia de tiempo empleado en una Zona/Anual

Zonas	Tiempo Actual Hr	Tiempo Propuesto Hr	Tiempo Reducido hr	Obj. Tiempo	EF. Actual	EF Propuesta	%Δ Ef.
17	2,132.41	1,630.61	501.80	1,919.17	90.00%	117.70%	27.70%
32	2,463.75	1,865.80	597.95	2,217.38	90.00%	118.84%	28.84%
Total general	**4,596.16**	**3,496.41**	**1,099.75**	**4,136.54**	**90.00%**	**118.27%**	**28.27%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.18 detallamos la eficiencia de tiempo empleado para realizar el servicio de una Zona /Anual mejoro un 28.27%, siendo la Zona 17 y 32, Mejorando 27.70% y 28.84 % Respectivamente, Representando Una reducción de 1,099.75Hr/ Anual

Tabla 5.19.

Eficiencia de tiempo empleado en una Zona/10 Años

Zonas	Tiempo Actual Hr	Tiempo Propuesto Hr	Tiempo Reducido hr	Obj. Tiempo	EF. Actual	EF Propuesta	%Δ Ef.
17	21,335.77	16,315.05	5,020.72	19,202.19	90.00%	117.70%	27.70%
32	24,657.75	18,673.35	5,984.40	22,191.98	90.00%	118.84%	28.84%
Total general	**45,993.52**	**34,988.40**	**11,005.11**	**41,394.16**	**90.00%**	**118.27%**	**28.27%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.19 detallamos la eficiencia de tiempo empleado para realizar el servicio de una Zona /10 Años mejora un 28.27%, siendo la Zona 17 y 32, Mejorando 27.70% y 28.84 % Respectivamente, Representando Una reducción de 11,005.11 Hr/ 10 Años

La eficiencia de costo requerido para realizar el servicio de una Zona 17 en un día actualmente requiere de S/. 48.66, en nuestra Propuesta genera un costo de S/. 42.12, representando un S/ 6.54 de Ahorro. Mientras que la Zona 32 su costo actual es de S/. 52.52, en nuestra propuesta su costo es de S/. 41.71, representando un S/7.81 de ahorro por Día. Mientras que el servicio de la zona 17 en un mes actual es de S/.1,508.39, en nuestra propuesta genera un costo de S/.1,305.60, representando un S/.202.79 de Ahorro. Mientras que la Zona 32 su costo actual es de /. 1,628.16 en nuestra propuesta su costo es de S/. 1,386.03, Representando un S/.242.13de. La proyección por año sería Zona 17/Año actual es de S/.17,760.10, en nuestra propuesta genera un costo de S/.15,372.38, representando un S/.2,387.72 de Ahorro. Mientras que la Zona 32 su costo actual es de /. 19,170.31 en nuestra propuesta su costo es de S/. 16,319.41, Representando un S/. 2, 850.91 de ahorro por Año mejorando. Proyectándose a 10 años obtendríamos en la Zona 17 un costo actual de S/.177,698.29, en nuestra Propuesta genera un costo de S/.153,808.00, representando un S/.23,890.29 de Ahorro mejorando una eficiencia de 13.98%. Mientras que la Zona 32 su costo actual es de S/. 191,860.67 en nuestra propuesta su costo es de S/. 163,328.19, Representando un S/. 28,532.49 de ahorro en 10 Año/ Zona mejorando un 15.72%, en Promedio La eficiencia de mejora en las 2 zonas es de 14.85%, representando un

S/.52,422.78 de Ahorro en os 10 Años. Así como lo de tallamos en las Tablas N° 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, por Día, Mes, Año, y en 10 Años Respectivamente, para ello utilizamos la siguiente formula.

El ahorro en 1 año en las 32 Zonas del Distrito de Chiclayo sería S/. 83,818.16. la proyección en 10 años representaría S/. 838,765.87 de Ahorro para el servicio de recolección en el distrito de Chiclayo. Así como lo de tallamos en las Tablas N° 5.17, 5.18, por Año, y en 10. Para ello utilizamos la siguiente formula.

$$\boldsymbol{Eficiencia\ Costo} = \frac{Costo\ Ideal}{Tiempo\ Real}$$

Tabla 5.20.

Eficiencia de costo para brindar el servicio de recolección Zona/Día

Zona	Actual S/.	Propuesta S/.	Ahorro S/.	Objetivo S/.	Eficiencia	Eficiencia Propuesta	%Δ Ef.
17	S/. 48.66	S/. 42.12	S/. 6.54	S/. 43.79	90.00%	103.98%	13.98%
32	S/. 52.52	S/. 44.71	S/. 7.81	S/. 47.27	90.00%	105.72%	15.72%
Total general	**S/. 101.18**	**S/. 86.83**	**S/. 14.35**	**S/. 91.06**	**90.00%**	**104.85%**	**14.85%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.20 detallamos la eficiencia de Costo requerido para realizar el servicio de una Zona 17/Día actual es de S/. 48.66, en nuestra Propuesta genera un costo de S/. 42.12, representando un S/ 6.54 de Ahorro mejorando una eficiencia de 13.98%. Mientras que la Zona 32 su costo actual es de S/. 52.52, en nuestra propuesta su costo es de S/. 41.71, Representando un S/7.81 de ahorro por Día mejorando un 15.72%, en Promedio La eficiencia de mejora es de 14.85%.

Tabla 5.21.

Eficiencia de costo para brindar el servicio de recolección Zona/Mes

Zona	Actual S/.	Propuesta S/.	Ahorro S/.	Objetivo S/.	Eficiencia	Eficiencia Propuesta	%Δ Ef.
17	S/. 1,508.39	S/. 1,305.60	S/. 202.79	S/. 1,357.55	90.00%	103.98%	13.98%
32	S/. 1,628.16	S/. 1,386.03	S/. 242.13	S/. 1,465.35	90.00%	105.72%	15.72%
Total general	**S/. 3,136.56**	**S/. 2,691.63**	**S/. 444.92**	**S/. 2,822.90**	**90.00%**	**104.85%**	**14.85%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.21 detallamos la eficiencia de Costo requerido para realizar el servicio de una Zona 17/Mes actual es de S/.1,508.39, en nuestra Propuesta genera un costo de S/.1,305.60, representando un S/.202.79 de Ahorro mejorando una eficiencia de 13.98%. Mientras que la Zona 32 su costo actual es de /. 1,628.16 en nuestra propuesta su costo es de S/. 1,386.03, Representando un S/.242.13de ahorro por mes mejorando un 15.72%, en Promedio La eficiencia de mejora es de 14.85%.

Tabla 5.22.

Eficiencia de costo para brindar el servicio de recolección Zona/Año

Zona	Actual S/.	Propuesta S/.	Ahorro S/.	Objetivo S/.	Eficiencia	Eficiencia Propuesta	%Δ Ef.
17	S/. 17,760.10	S/. 15,372.38	S/. 2,387.72	S/. 15,984.08	90.00%	103.98%	13.98%
32	S/. 19,170.31	S/. 16,319.41	S/. 2,850.91	S/. 17,253.26	90.00%	105.72%	15.72%
Total general	**S/. 36,930.41**	**S/. 31,691.78**	**S/. 5,238.63**	**S/. 33,237.34**	**90.00%**	**104.85%**	**14.85%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.15 detallamos la eficiencia de Costo requerido para realizar el servicio de una Zona 17/Año actual es de S/.17,760.10, en nuestra Propuesta genera un costo de S/.15,372.38, representando un S/.2,387.72 de Ahorro mejorando una eficiencia de 13.98%. Mientras que la Zona 32 su costo actual es de /. 19,170.31 en nuestra propuesta su costo es de S/. 16,319.41, Representando un S/. 2, 850.91 de ahorro por Año mejorando un 15.72%, en Promedio La eficiencia de mejora es de 14.85%.

Tabla 5.23.

Eficiencia de costo para brindar el servicio de recolección Zona/10 Años

Zona	Actual S/.	Propuesta S/.	Ahorro S/.	Objetivo S/.	Eficiencia	Eficiencia Propuesta	%Δ Ef.
17	S/. 177,698.29	S/. 153,808.00	S/. 23,890.29	S/. 159,928.38	90.00%	103.98%	13.98%
32	S/. 191,860.67	S/. 163,328.19	S/. 28,532.49	S/. 172,674.39	90.00%	105.72%	15.72%
Total general	**S/. 369,558.96**	**S/. 317,136.18**	**S/. 52,422.78**	**S/. 332,602.77**	**90.00%**	**104.85%**	**14.85%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.16 detallamos la eficiencia de Costo requerido para realizar el servicio de una Zona 17 en 10 años sería S/.177,698.29, en nuestra Propuesta genera un costo de S/.153,808.00, representando un S/.23,890.29 de Ahorro mejorando una eficiencia de 13.98%. Mientras que la Zona 32 su costo actual es de S/. 191,860.67 en nuestra propuesta su costo es de S/. 163,328.19, Representando un S/. 28,532.49 de ahorro por Año mejorando un 15.72%, en Promedio La eficiencia de mejora en las 2 zonas es de 14.85%, representando un S/.52,422.78 de Ahorro en os 10 Años.

Tabla 5.24.

Ahorro en las 32 Zonas del distrito de Chiclayo en 1 año

Zona	Costo Actual S	Costo Propuesto S	Ahorro total Turno S	Obj. Zonas Total	EF. Actual Zonas	EF. Propuesta Zonas	Eficiencia S
Mañana	S/. 295,443.48	S/. 253,534.40	S/. 41,909.08	S/.265,899.11	90.0%	104.9%	14.9%
Noche	S/. 295,443.48	S/.253,534.40	S/. 41,909.08	S/.265,899.11	90.0%	104.9%	14.9%
Total general	**S/. 590,886.97**	**S/. 507,068.80**	**S/. 83,818.16**	**S/.531,798.21**	**90.0%**	**104.9%**	**14.9%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.17 detallamos el ahorro en 1 año en las 32 Zonas del Distrito de Chiclayo sería S/. 83,818.16.

Tabla 5.25.

Ahorro en las 32 Zonas del distrito de Chiclayo en 10 Años

Zona	Totales Actual S	Total Propuesta S	Ahorro total Turno S	Obj. Zonas Total	EF. Actual Zonas	EF. Propuesta Zonas	Eficiencia S
Mañana	S/.2,956,473.87	S/. 2,537,090.94	S/. 419,382.93	S/.2,660,826.19	90.0%	104.9%	14.9%
Noche	S/.2,956,473.87	S/. 2,537,090.94	S/. 419,382.93	S/.2,660,826.19	90.0%	104.9%	14.9%
Total general	**S/.5,912,947.74**	**S/. 5,074,181.87**	**S/. 838,765.87**	**S/.5,321,652.38**	**90.0%**	**104.9%**	**14.9%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.18 detallamos el ahorro en 10 años en las 32 Zonas del Distrito de Chiclayo sería S/. 838,765.87

$$\boldsymbol{Eficiencia\ de\ Produccioin\ Zona} = \frac{TN\ recogidas\ por\ Zona}{costo\ de\ combustuble\ empleado}$$

Tabla 5.26.

Eficiencia de producción Zona / Día

Tuno	Inversión Actual (S/.)	Inversión Propuesta (S/)	Promedio de Basura TN Zona/día	Ef. Actual	Ef. propuesto	Δ EF.	Objetivo EF	Eficiencia Actual PP	Eficiencia Propuesta PP	% Δ EF.
Noche	**101.18**	**86.83**	**7.66**	**0.152**	**0.177**	**0.025**	**0.167**	**90.91%**	**105.91%**	**15.00%**
17	48.66	42.12	3.83	0.079	0.091	0.012	0.087	90.91%	105.03%	14.12%
32	52.52	44.71	3.83	0.073	0.086	0.013	0.080	90.91%	106.79%	15.88%
Total	**101.18**	**86.83**	**7.66**	**0.152**	**0.177**	**0.025**	**0.167**	**90.91%**	**105.91%**	**15.00%**

***Fuente*:** Autores

En la tabla 5.19 detallamos la producción promedio en una zona es 3.83 Tn/día, la eficiencia actual en la Zona 17 es de 0.079Tn/Cada Sol inventado, representando un 90.91% eficiencia.; en nuestra Propuesta tenemos una eficiencia de 0.091Tn/Cada Sol Propuesto, representado un 105.03% de Eficiencia. Mientras que en la Zona 32 la eficiencia es de 0.073Tn/por cada Sol Propuesto, representando un 90.91% de Eficiencia; en nuestra propuesta obtuvimos una eficiencia de 0.086Tn/Cada sol Propuesto, representado un 106.79% de Eficiencia. Notablemente los recursos de maximizan, notablemente nuestra eficiencia mejoro 14.12% en la Zona 17 y 15.88% en la Zona 32 respectivamente.

Tabla 5.27.

Eficiencia de producción Tuno / Mes

Tuno	Inversión Actual (S/.)	Inversión Propuesta (S/)	Ahorro total Turno (S/)	Promedio Turno	Ef. Actual	Ef. propuesto	Δ EF.	Objetivo EF	Eficiencia Actual PP	Eficiencia Propuesta PP	% Δ EF.
Mañana	25,092.46	21,533.06	3,559.40	1,899.68	4.701	5.475	0.774	5.171	90.91%	105.91%	15.00%
Noche	25,092.46	21,533.06	3,559.40	1,899.68	4.701	5.475	0.774	5.171	90.91%	105.91%	15.00%
Total	**50,184.92**	**43,066.12**	**7,118.80**	**3,799.36**	**9.401**	**10.949**	**1.548**	**10.342**	**90.91%**	**105.91%**	**15.00%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.20 detallamos la producción por tuno en promedio asciende a 1889.68 Tn/Mes, Obteniendo una Producción de 3799.39 Tn Zona/mes. La eficiencia de Producción mensual actual es de 4.701 Tn/Mes por cada sol invertido. Mientas

que en nuestra Propuesta Obtuvimos 5.475Tn/Mes por cada Sol invertido. Notablemente nuestra eficiencia mejoro en un 15% en Promedio, representando una suma de S/7,118.80 de ahorro

Tabla 5.28.

Eficiencia de producción Tuno / Año

Tuno	Inversión Actual (S/.)	Inversión Propuesta (S/)	Ahorro total Turno (S/)	Promedio Turno	Ef. Actual	Ef. propuesto	Δ EF.	Objetivo EF	Eficiencia Actual PP	Eficiencia Propuesta PP	% Δ EF.
Mañana	295,443.48	253,534.40	41,909.08	22,367.20	55.347	64.459	9.112	60.882	90.91%	105.91%	15.00%
Noche	295,443.48	253,534.40	41,909.08	22,367.20	55.347	64.459	9.112	60.882	90.91%	105.91%	15.00%
Total	**590,886.97**	**507,068.80**	**83,818.16**	**44,734.40**	**110.694**	**128.919**	**18.225**	**121.763**	**90.91%**	**105.91%**	**15.00%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.21 detallamos la producción por tuno en promedio asciende a 22,367.20 Tn/Anual, Obteniendo una Producción de 44,734.40 Tn Zona/Anual. La eficiencia de Producción anual actual es de 55.347Tn/Año por cada sol invertido. Mientas que en nuestra Propuesta Obtuvimos 64.459Tn/Año por cada Sol invertido. Notablemente nuestra eficiencia mejoro en un 15% en Promedio, representando una suma de S/. 83,818.16de ahorro.

Tabla 5.29.

Eficiencia de producción Tuno / 10 Años

Tuno	Inversión Actual (S/.)	Inversión Propuesta (S/)	Ahorro total Turno (S/)	Promedio Turno	Ef. Actual	Ef. propuesto	Δ EF.	Objetivo EF	Eficiencia Actual PP	Eficiencia Propuesta PP	% Δ EF.
Mañana	2,956,473.87	2,537,090.94	419,382.93	223,825.20	553.846	645.032	91.186	609.230	90.91%	105.91%	15.00%
Noche	2,956,473.87	2,537,090.94	419,382.93	223,825.20	553.846	645.032	91.186	609.230	90.91%	105.91%	15.00%
Total	**5,912,947.74**	**5,074,181.87**	**838,765.87**	**447,650.40**	**1,107.692**	**1,290.064**	**182.372**	**1,218.461**	**90.91%**	**105.91%**	**15.00%**

Fuente: Autores

En la tabla 5.22 detallamos la producción por tuno en promedio asciende a 223,825.20 Tn/10 Años, Obteniendo una Producción de 447,650.40Tn Zona/ 10 Años. La eficiencia de Producción anual actual es de 553.846 Tn/10 Años por cada sol invertido. Mientas que en nuestra Propuesta Obtuvimos 645.032 Tn/10 Años por cada Sol invertido. Notablemente nuestra eficiencia mejoro en un 15% en Promedio, representando una suma de S/. 838,765.87.

5.5. Análisis del costo benéfico de la investigación en las 32 Zonas actual y propuesto.

Tabla 5.30

Análisis costo beneficio

32 Zonas	Proyecto Actual	Proyecto Propuesto
Kilometraje (KM)	919,157.60	788,773.76
Costo S/.	590,886.97	507,068.80

Fuente: Autores

$$Costo\ Anual = 590{,}886.97 - 507{,}068.80$$

$$Costo\ Anual = 83{,}818.17$$

$$Beneficio = 919{,}157.60 - 788{,}773.76$$

$$Beneficio = 130{,}383.84$$

$$B/C = \frac{130{,}383.84}{83{,}818.17}$$

$$B/C = 1.56$$

Nuestra investigación B/C>1 por lo tanto los beneficios superan los costes, por consiguiente el proyecto debe ser considerado.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Concluimos que tanto en una empresa privada o del estado; como fue el caso de la presente investigación, es posible realizar mejoras a través de modelos de optimización o matemáticos de la investigación de operaciones.

- La sectorización de zonas fue un trabajo elaborado desde gabinete por la institución de Chiclayo Limpio, limitándonos a realizar recorridos dentro de las zonas señalizadas en el mapa, sin embargo fue de igual manera necesario adecuar toda la información recogida en campo y gabinete al modelo propuesto de rutas agente viajero.

- El presente estudio de investigación se complementó con mejoras adicionales como distribución de compactador por zona, según su capacidad y aplicando un modelo de la ruta más corta para ir de planta a zona, de zona a Reque y de Reque a planta, para lograr llegar a cubrir las expectativas de optimización.

- Los indicadores de Eficiencia para distancia (km) reducirán en un 14.9%, representando por 22.33 Km/día, 692.11Km/mes, 8148.99Km/Año, 81, 546.70 Km/10 Años. Mientras que nuestro indicador de Tiempo mejoraría la eficiencia en un 28.27%, uno de los indicadores de mayor resultado, redujo 3.01 Hr/Día, 93.40Hr/mes, 1099.75Hr/año 11.005.11Hr/10Años.

- El indicador con mayo trabajo fue es de costos. Se obtubo una eficiencia de 13.98% en la Zona 17 representado un ahorro de S/ 6.54 por día, S/.202.79 Por mes, S/.2,387.72 por Año, S/.23,890.29 en 10 Años. Mientras que en la Zona 32 se obtuvo

una eficiencia de 15.72%, representando un ahorro de S/7.81 por día, S/.242.13 por Mes, S/. 2, 850.91 por año, S/. 28,532.49 de ahorro en 10 Años. Resultado en las 2 zonas una eficiencia promedio de 14.85% equivalente a S/. 28,532.49 de ahorro en 10 Años. El ahorro en 1 año en las 32 Zonas del Distrito de Chiclayo sería S/. 83,818.16. la proyección en 10 años representaría S/. 838,765.87 de Ahorro para el servicio de recolección en el distrito de Chiclayo.

- En cuanto el indicador de producción (tn) por cada sol invertido obtuvimos una eficiencia de 14.12% en la Zona 17, representando 0.091Tn/S/.1, con una eficiencia de 105.03%, en la Zona 32 obtuvimos una eficiencia de 15.88% representado 0.086Tn/S/.1 con una eficiencia de 106.79%.

- se estima de la producción por tuno en 1889.68 Tn/mes requiriendo una inversión actual de S/. 25,092.46, mientras que nuestro estudio sería 21,533.06, logrando ahorrar por tuno S/. 3,559.40/mes, en un mes ambos turno sería S/7,118.80.

- Finalmente el proyecto fue un éxito, al demostrar a través de un análisis de costo beneficio, al año se obtendría un ahorro de S/.13,383.84. Puesto que en la zona 17 se obtuvo una eficiencia de 13.98%, representando un ahorro de S/.202.79 por mes, S/.2,387.72 por Año y S/.23,890.29 en 10 Años. Mientras que en la Zona 32 se obtuvo una eficiencia de 15.72%, representando un ahorro de S/.242.13 por Mes, S/. 2, 850.91 por año, S/. 28,532.49 de ahorro en 10 Años.

6.2. Recomendaciones

- Diseñar e implementar rutas para recolección de residuos sólidos en las zonas restantes para mejorar un mejor servicio de limpieza y hacer un su uso eficiente de los recursos, para tener una provincia satisfecha.

ANEXOS

1. **Cuestionario de entrevista**

ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

Entrevista dirigida Gerente de Desarrollo ambiental de MPCH

Ing José Calle Sampén

Realizado y validado con la finalidad de efectuar un levantamiento de información para el estudio de investigación de tesis Optimización De Las Rutas Recolectoras De Residuos Sólidos En El Distrito De Chiclayo, Para Mejorar La Eficiencia Del Servicio De Limpieza.

1. **¿En cuántas zonas y turnos está dividido la provincia de Chiclayo para realizar el servicio de limpieza?**

   Chiclayo está dividido en 32 zonas y dos turnos el primer turno comprende de 11:30 am a 6:30 pm y el segundo turno de 9:00 pm a 3:00 am

2. **¿Cuentan actualmente con rutas definidas que justifiquen operativamente el recojo de basura de cada zona?**

   NO, tratamos de dar frecuentemente el servicio de limpieza a las zonas céntricas, generando en algunos casos que las zonas que se encuentran alejadas no reciban este beneficio algunos días.

3. **¿Cómo controlan o supervisan el recorrido de cada compactador en sus respectivas zonas?**
   Se realiza una inspección directa en camioneta, solicitando vía telefónica la ubicación de la compactadora que se encuentra en servicio.
4. **¿Cuántas compactadoras tienen en total?**

   16 compactadoras de diferentes toneladas.

5. **¿Cuántas compactadoras están funcionando operativamente para el servicio de recojo de basura?**

De las 16 compactadoras existentes, sólo 8 se encuentran operativas.

6. **¿Cómo distribuyen las compactadoras para realizar el servicio de recolección de residuos sólidos?**

   Son distribuidas según la disponibilidad y funcionamiento.

7. **¿Cuántas personas realizan el recojo de basura por zona?**

   Lo realizan 3 personas; el chofer y dos ayudantes por compactadora, pero en planilla tenemos 60 choferes, 160 ayudantes.

8. **¿Qué tipo de combustible utilizan y quién es su proveedor?**

   Las compactadoras son abastecidas en cada turno con 5, 6,7 y/o 8 galones de petróleo, siendo nuestro proveedor Petroperú

2. Guía de observación

USS Universidad Señor de Sipán	GUIA DE OBSERVACIÓN ACTUAL RUTAS RECOLECTORAS DE RESIUDOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE CHICLAYO 2015	CÓDIGO	G.OBS RS-MPCH
		VERSIÓN	1
		FECHA	8/04/2015

EVALUDAOR (es): Carrasco Peña, Elías
Díaz toro, Gleddy Yuleisy Mariberth

FECHA DE EVA: 11/05/2015

ITMES	DESCRIPCION BREVE DE LA TAREA	APLICA SI/NO	ESTADO DE CUMPLIMIENTO					SUSTENTO DE CUMPLIMIENTO/OBSERVACIONES
			SI	EN PROCESO			NO	
				P1	P2	P3		
			LLENAR CON "X"					
1	El área de residuos sólidos registra la producción diría de basura por zona	SI	X			X		Reporte diario de basura
2	El área de Desarrollo ambiental ha determinado el Kilometraje recorrido que se emplea de planta hacia la Zona y de la zona hacia reque.	NO					X	Basado en experiencia
3	El área de residuos sólidos cuenta con la infomación de la capacidad (TN) de cada compactadora.	SI	X			X		Ficha Técnica de Compactador
4	El área de desarrollo ambiental cuenta con una ruta definida para la recolección de residuos sólidos que justifique operativamente el recojo de basura y que asegure el uso eficiente de sus recursos, cómo el combustible.	NO					X	Basado en experiencia, pasan mas de 1 vez por el mismo lugar desatendiendo calles y avenidas.
5	El área de desarrollo ambiental a definido la ruta mas corta para realizar el servicio de recolección de Residuos sólidos	NO					X	Basado en experiencia
6	Se a realizado la sectorización por zonas	SI				X		Chiclayo Limpio
7	La gerencia de RS de la MPCH a realizado una distribución correcta de compactadoras de acuerdo a su capacidad	SI		X				Según tamaño de Zona
8	El área de Desarrollo ambiental controla el consumo de combustible por compactador	NO					X	Llenado al 100% del tanque
9	Las compacadoras respetan el sentido de la calles para brindar el servicio de recolección de residuos sólidos	SI				X		según Normas de Transporte
10	Es visible el acumulamiento de basura en el distrito de Chiclayo.	SI			X			Algunos puntos son conseiderados en el

ESTADO DE CUMPLIMIENTO	⇩33.33%	⇧66.67%

Fuente: Autores

3. Figuras

Depósito y mantenimiento de maquinaria

Figura 1. Local de mantenimiento de compactadoras

Fuente: Autores

Maquinaria Obsoleta

Figura 2. Almacén de maquinaria obsoleta.

Fuente: Autores

Control de asistencia

Figura 3. Control de asistencia

Fuente: Autores

Compactadora en actividad

Figura 4. Compactadora brindando servicio de limpieza

Fuente: Autores

4. Tablas

Tabla 1.

Población estimada y cantidad de R.S domiciliarios a recolectar por día

ZONAS	TOTAL MANZ.	TOTAL LOTES	VIVIENDAS VERTICALES (%)	TOTAL VIVIENDAS VERTICALES	TOTAL VIVIENDAS ESTIMADAS (C+E)	POBLACION ESTIMADA 4.5 Hab./viv.	TOTAL RR. SS. (0.45KG/hab.)	TOTAL A RECOGER EN t/día
Z-01	75	1845	2.00	37	1882	8469	3810.85	3.81
Z-02	63	1725	4.50	78	1803	8112	3650.32	3.65
Z-03	58	2132	5.00	107	2239	10074	4533.17	4.53
Z-04	51	1883	6.00	113	1996	8982	4041.86	4.04
Z-05	56	2036	5.00	102	2138	9620	4329.05	4.33
Z-06	104	2050	7.50	154	2204	9917	4462.59	4.46
Z-07	126	1822	5.00	91	1913	8609	3874.03	3.87
Z-08	64	2023	3.00	61	2084	9377	4219.47	4.22
Z-09	137	2011	5.50	111	2122	9547	4296.25	4.30
Z-10	67	2025	4.50	91	2116	9523	4285.15	4.29
Z-11	63	2205	5.00	110	2315	10419	4688.38	4.69
Z-12	74	2093	5.00	105	2198	9889	4450.24	4.45
Z-13	74	2055	5.50	113	2168	9756	4390.25	4.39
Z-14	156	1980	3.00	59	2039	9177	4129.79	4.13
Z-15	93	1872	2.50	47	1919	8635	3885.57	3.89
Z-16	62	1815	4.00	73	1888	8494	3822.39	3.82
Z-17	51	1691	6.50	110	1801	8104	3646.85	3.65
Z-18	24	1226	8.00	98	1324	5958	2681.26	2.68
Z-19	32	932	8.00	75	1007	4530	2038.28	2.04
Z-20	45	1644	7.00	115	1759	7916	3562.14	3.56
Z-21	37	1160	8.00	93	1253	5638	2536.92	2.54
Z-22	52	1472	8.50	125	1597	7187	3234.17	3.23
Z-23	76	1871	6.50	122	1993	8967	4035.05	4.04
Z-24	70	1857	4.00	74	1931	8691	3910.84	3.91
Z-25	58	1645	2.50	41	1686	7588	3414.40	3.41
Z-26	58	1963	3.00	59	2022	9099	4094.33	4.09
Z-27	76	2015	2.50	50	2065	9294	4182.38	4.18
Z-28	47	2181	2.00	44	2225	10011	4504.86	4.50
Z-29	60	1660	9.50	158	1818	8180	3680.84	3.68
Z-30	70	1279	15.00	192	1471	6619	2978.47	2.98
Z-31	66	1500	15.00	225	1725	7763	3493.13	3.49
Z-32	40	1663	13.00	216	1879	8456	3805.36	3.81
TOTAL	**2185**	**57331**	**192.00**	**3246**	**60577**	**272597**	**122668.63**	**122.67**

Fuente: Institución de Chiclayo Limpio (2015)

Esquema simulado

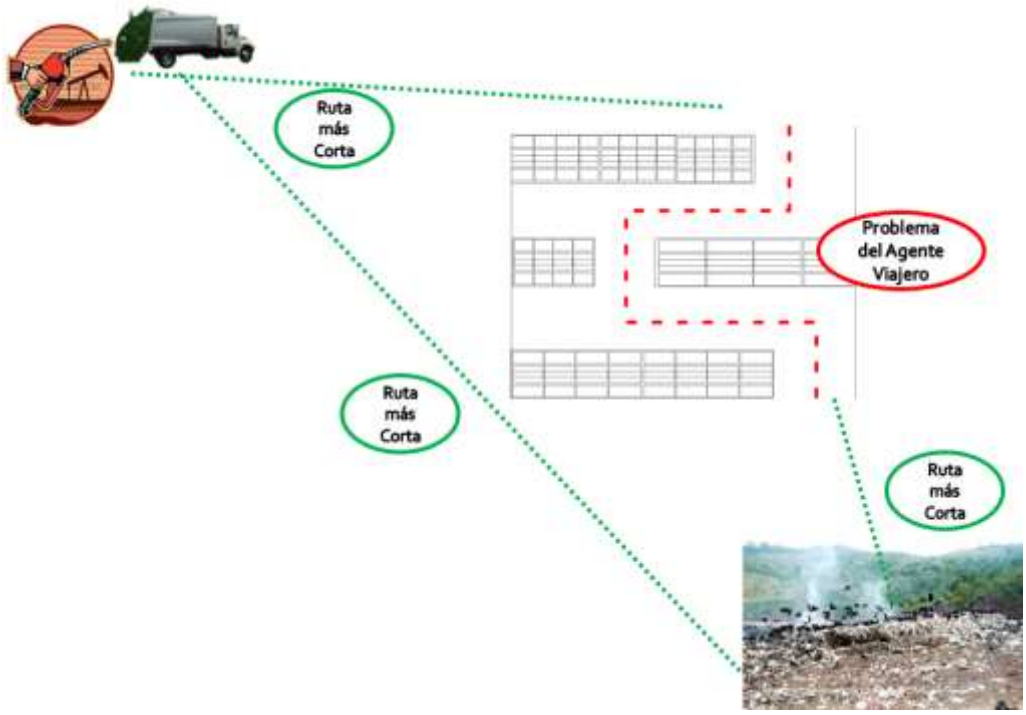


Figura 5. Esquema de del servicio de limpieza

Fuente: Autores

BIBLIOGRAFÍA

Betancourt, & Soto, C. R. (Julio de 2008). Modelo para la Optimizar la recolección de tarimas de una empresa arrendadora. *Instituto politécnico nacional*. México.

Brain, & Trust. (2009). *Técnicas para la Optimización de Rutas de.* EUROPA.

Cabrejo, J. (08 de Setiembre de 2011). El 40% de la basura que se produce a dirario en Chiclayo es reciclable. Chiclayo, Lambayeque.

Carbajal, A. J. (2012). *Manual de Residuos Solidos Caterpillar.* México.

Celis, H. M. (2009). *Investigación de Operaciones I.* hemaruce.

Depaz. (2014). Desarrollo ambiental.

Díaz, A. (19 de enero de 2011). *slideshare.* Obtenido de http://es.slideshare.net/mamorumx/metodo-algebraico-6632487

Feldstein, M. (1963). *Investigación operacional y eficiencia en el servicio de salud.*

Guarachi, O., & Dora, L. (Julio de 2008). Valoración economica de los factotes relacionados al reciclaje en el municipio de el alto. *Universidad Mayor de san Andrés*. Bolivia.

Hillier, Fredereick, Lieberman, & Gerald. (2010). *Investigación de Operaciones 9a Edición.* Mexico: Mc Graw Hill.

INEI, I. d. (2014). *Compendio Estadístico Perú.* INEI, Lima.

Larumbe, & Federico. (2009). Optimización de la recolección de residuos en la zona sur de la Ciudad de Buenos Aires. *Universidad de Buenos Aires*. Buenos Aires, Argentina.

López, B. S. (2012). *ingenieria industrial online*. Obtenido de http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/problema-del-agente-viajero-tsp/

López, E., Salas, Ó., & Murillo, Á. (2014). EL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO: UN ALGORITMO DETERMINÍSTICO USANDO BÚSQUEDA TABÚ. *Revista de Matemática*, 19.

Marco, Montufar, Flores, H. R., Hein, N., López, J. F., .F, O., . . . santori, G. F. (2009). *Investigación de Operaciones 1a Edición.* Espeña: Patría.

MINSA, M. d. (2011). *Evaluación de la gestión de los rersidos solidos en el Perú 1a Edición.* Lima : ASKHA .

Oré, & Lugo, J. J. (Junio de 2012). Optimización de rutas en la distribución de productos de belleza. *Pontificia Universidad católica del Perú*. Lima.

Ortega, P. L. (2012). *PROGRAMACION LINEAL Y ANALISIS DE SENSIBILIDAD.* Chiclayo.

Ramírez, Herrera, Mauricio, Milton, Castro, Orjuela, . . . Javier. (Junio 2014). Investigación de operaciones: nuevas tendencias en la toma de decisiones organizacionales. *VirtualPro*, 1-3.

Rubin, H. (2010). *Investigación de Operaciones.* Mexico.

Samame, I., Jorge, N., Urrutia, G., Luis, C., Guimoye, H., Arana, P., & Oscar. (2014). *Población estimada y cantidad de residuos sólidos domiciliarios recoger por día.* Chiclayo.

Sampén, L. C. (11 de Junio de 2015). Semanarioexpresion. *MPCH prefiere alquilar camiones antes que reparar compactadoras*, pág. 2.

Sánchez, F. S. (Octubre de 2007). *ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL*. Obtenido de http://www.icm.espol.edu.ec/jornadas/14/archivos/Diapositivas/SandoyaFernando/conferencia/SandoyaFernando_M%C3%A9todos_exactos_y_heur%C3%ADsticos_para_el%20VRP_jornadas.pdf

Taha, H. A. (2004). *Investigación de.* México: 7a.

Taha; Handy. (2010). *Investigación de Operaciones.* Mexico: 7a. Edición.

Taha; Hamdy. (2012). *Investigación de Operaciones* (9a ed.). (Ballesteros, & G. López, Edits.) México: Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana.

Uson. (2012). *Manual de Residuos Solidos Caterpillar.* México.

Valdivia, & Taquía, J. A. (mayo de 2013). Optimización de rutas en una empresa de recojo de residuos sólidos en el distrito de los olivos.

Winston, & Wayne. (2005). *Investigación de Operaciones Aplicaciones y Algoritmos.* México: Thomson.

Feldstein, M., Investigación operacional y eficiencia en el servicio de salud. Lanceta. 281 (7279), pp.491-492. 1963. DOI: 10.1016 / S0140-6736 (63) 92381-X

Belciug, S. y Gorunescu, F., un algoritmo genético híbrido en cola modelo multicompartimental para optimizar la ocupación de la cama para pacientes internados y los costos asociados. Artif Intell Med. 68, pp. 59-69, 2016.

Rahman, S. y Smith, DK, Uso de modelos de ubicación y asignación en la planificación del desarrollo de los servicios de salud en los países en desarrollo. Eur J Oper Res. 123 (3), pp. 437-452, 2000.

ANEXOS II

RUTAS DEFINIDAS POR ZONA EN A3