

DISEÑO DE UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE Y SU IMPACTO EN LOS COSTOS DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA COSTA GAS S.A.C

por Mogollón Zafra

Fecha de entrega: 02-may-2019 07:44p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1123893033

Nombre del archivo: TESIS_MOGOLON_ZAFRA_sustentacion.docx (3.88M)

Total de palabras: 19847

Total de caracteres: 98830

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**“DISEÑO DE UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE
Y SU IMPACTO EN LOS COSTOS DEL CENTRO DE
DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA COSTA GAS S.A.C”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: OPTIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN

AUTORES: Br. Mogollón Oviedo, Fiorella Lourdes
Br. Zafra Castillo, Astrid Karolay

ASESOR: Ing. López Miñano, Wilton Eder

TRUJILLO-PERÚ

2019

N° 0629-2019-FI-UPAO

ACREDITACIONES

TÍTULO: "DISEÑO DE UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE, Y SU IMPACTO EN LOS COSTOS DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA COSTA GAS S.A.C."

ELABORADO POR:

Br. Mogollón Oviedo Fiorella Lourdes

Br. Zafra Castillo Astrid Karolay

APROBADO POR:

Ing. López Aguilar Angel Miguel
PRESIDENTE
N° CIP: 21315

Ing. Terrones Romero Julio Milton
SECRETARIO
N° CIP: 24877

Ing. Quiñones Carbajal Dilmar
VOCAL
N° CIP: 192914

Ing. López Miñano Wilton Eder
ASESOR
N° CIP: 34995

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico en primer lugar a Dios. De igual forma, dedico esta tesis a mi madre que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles. A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Br. Mogollón Oviedo, Fiorella

A dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más. A mis padres por ser las personas que me han acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida. A mis amigos, que gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino. A mis profesores, gracias por su tiempo, por su apoyo, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

Br. Zafra Castillo, Astrid

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mi padre, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi familia, que siempre han estado presente en mi vida. Y sé que están orgullosos de la persona en la cual me he convertido.

Br. Mogollón Oviedo, Fiorella

A Dios, por acompañarme todos los días.

A mi Madre por ser la mujer más tierna de este mundo, la que siempre ve por mí y lo da todo por nosotros.

A mi familia, que son lo más bello que Dios ha puesto en mi camino y por quienes estoy inmensamente agradecido.

Y gracias a todos los que nos brindaron su ayuda en este trabajo.

Br. Zafra Castillo, Astrid

RESUMEN

En la actualidad las empresas componen una serie de redes logísticas cuya optimización forma un papel importante para la sostenibilidad de ellas. De lo cual existe varios modelos para la optimización de redes logísticas en el transporte de productos, tal es el caso del VRP (Vehicle Routing Problem). El cual permite diseñar rutas de transporte para varios vehículos y agregar valor a los productos transportados cuando estos son entregados a tiempo.

El presente trabajo analizado en el área de distribución del departamento de logística, en la empresa Costa Gas S.A.C Trujillo, representa una potencial solución para el área en mención, ya que presenta como uno de sus problemas principales sus altos costos en el área de logística específicamente en transporte, contando con 5 unidades de transporte para las rutas de Huanchaco, El Porvenir, La Esperanza, El milagro, El valle y Trujillo. Nuestro objetivo es reducir dichos costos, debido a esto, consideramos la implementación de un algoritmo para la solución de este problema de ruteo de vehículo (VRP), se aplicará la heurística propuesta por Clarke y Wright (Pichpibul, 2012) también llamada el algoritmo de ahorros, denominado así porque en su ejecución se van generando ahorros de distancias. Dicho algoritmo nos dará un cálculo rápido y eficiente, resolviendo el problema del VRP con flota homogénea y heterogénea dando una solución aceptable que podrá ser comparada con la planeación de rutas que actualmente maneja la empresa y con dicha información poder concluir si realmente se está optimizando su red de distribución.

Palabras clave: VRP (Vehicle Routing Problem), Optimización, Costo, Algoritmo ahorro, Planeación, rutas.

ABSTRACT

Nowadays, companies make up a series of logistic networks whose optimization plays an important role for the sustainability of them. Of which there are several models for the optimization of logistics networks in the transport of products, such is the case of the VRP (Vehicle Routing Problem). Which allows to design transport routes for several vehicles and add value to the transported products when they are delivered on time.

The present work analyzed in the distribution area of the logistics department, in the company Costa Gas SAC Trujillo, represents a potential solution for the area in question, since it presents as one of its main problems its high costs in the area of logistics specifically in transport, with 6 transport units for the routes of Huanchaco, El Porvenir, La Esperanza, El Milagro, El valle and Trujillo. Our goal is to reduce these costs, due to this, we consider the implementation of an algorithm for the solution of this vehicle routing problem (VRP), the heuristic proposed by Clarke and Wright (Pichpibul, 2012) also called the algorithm of savings, denominated like this because in their execution distance savings are generated. This algorithm will give us a quick and efficient calculation, solving the VRP problem with a homogeneous and heterogeneous fleet, giving an acceptable solution that can be compared with the route planning that the company currently manages and with this information to be able to conclude if it is really optimizing its distribution network.

keywords: VRP (Vehicle Routing Problem), Optimization, Cost, Saving Algorithm, Planning, routes.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

Presentamos a ustedes la tesis titulada: "DISEÑO DE UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE, Y SU IMPACTO EN LOS COSTOS DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA COSTA GAS S.A.C". Dando cumplimiento y conforme a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos y Reglamento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial. Esperando cumplir con los requisitos de aprobación.

Trujillo, 29 de Abril del 2019

Br. Mogollón Oviedo, Fiorella Lourdes

Br. Zafra Castillo, Astrid Karolay

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
ACREDITACIONES.....	ii
ÍNDICE.....	ix
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES:.....	xi
ÍNDICE DE CUADRO.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Problema de investigación.....	14
a. Descripción de la realidad problemática.....	14
b. Descripción del problema.....	15
c. Formulación del problema.....	18
1.2. Objetivos de la investigación.....	19
1.2.1. General.....	19
1.2.2. Específicos.....	19
1.3. Justificación del estudio.....	20
II. MARCO DE REFERENCIA.....	21
2.1. Antecedentes del estudio.....	21
2.2. Marco teórico.....	24
2.2.1. VRP (Vehicle Routing Problem).....	24
2.2.2. Variantes del VRP (Vehicle Routing Problem).....	31
2.2.3. Problema con capacidades o Capacited VRP (CVRP).....	32
2.2.4. Problema de Ruteo Vehicular con Flota Heterogénea (HVRP).....	34
2.2.5. Problema con Ventanas de Tiempo (VRP with Time Window – VRPTW).....	36
2.2.6. Problema con Múltiples Depósitos (Multiple Depot VRP-MDVRP).....	37

2.2.7. Problema de entregas divididas con diferentes vehículos (Split Delivery VRP – SDVRP).....	37
2.2.8. Problema de Ruteo Vehicular con demanda estocástica (SVRP).....	38
2.2.9. VRP with Backhauls – VRPB (Problema de ruteo vehicular con carga de retorno).....	38
2.2.10. Problema con entregas y devoluciones (VRP with Pickup and Delivery – VRPPD).....	39
2.2.11. VRP with Satellite Facilities – VRPSF.....	40
2.2.12. Técnicas de solución del VRP.....	40
2.2.13. Métodos Exactos.....	41
2.2.14. Métodos Heurísticos.....	42
2.2.15. RUTAS VEHICULARES Y PROGRAMACIÓN.....	52
2.3. Marco conceptual.....	53
2.4. Hipótesis.....	53
2.5. Variables e indicadores.....	54
III. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	55
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	55
3.2. Población y muestra de estudio.....	55
3.3. Diseño de investigación.....	55
3.4. Técnicas e instrumentos de investigación.....	55
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	55
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	56
4.1. Análisis e interpretación de resultados.....	56
V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	91
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	94
ANEXOS.....	10

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES:

Ilustración 1: se muestra un ejemplo del resultado deseado de una red de distribución, además en la siguiente figura se resaltan los elementos principales del modelo gráfico.....	30
Ilustración 2: Ejemplos de una buena y mala secuencia de paradas	52
Ilustración 3: Situación actual de ruteo de la empresa en estudio.....	58
Ilustración 4: Kilómetros de Costa Gas a cada Destino.	63
Ilustración 5: Comparación entre distancia y tiempo de Costa GAS a cada destino.....	63
Ilustración 6: Gráfica de la nueva red de distribución.....	83

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1: Operacionalización de las variables	54
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Origen- destinos de la empresa a estudiar	56
Tabla 2: La oferta	57
Tabla 3: Descripción del producto	57
Tabla 4: Demanda de los clientes	57
Tabla 5: Demandas promedio de la empresa Costa GAS SAC.	58
Tabla 6: Estandarización de distancias, origen- destino.	59
Tabla 7: Promedio de distancias y tiempos de Costa Gas a los 16 destinos.	60
Tabla 8: Promedio de distancias y tiempos de la empresa Costa Gas	61
Tabla 9: Muestra un resumen del promedio de las distancias, entre el origen (La empresa Costa GAS) y los 16 destinos.....	62
Tabla 10: Distancias y tiempos de Costa Gas a los demás destinos.	64
Tabla 11. Distancias y tiempos de Costa Gas a los demás destinos.	65
Tabla 12: Consumo de combustible por tipo de vehículo.....	67
Tabla 13: Solución inicial.....	67
Tabla 14: Costos de ruteo para los 16 nodos del problema planteado.	68
Tabla 15: Matriz simétrica de costo.....	69
Tabla 16. Segunda solución utilizando el mayor ahorro.....	76
Tabla 16: Resumen de las uniones de los arcos mediante el algoritmo Clarke and Wright.....	78
Tabla 18: Rutas generadas por el algoritmo Clarke y Wright.	82
Tabla 19: Rutas generadas por el algoritmo Clarke y Wright.	82

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

a. Descripción de la realidad problemática

La Asociación Mundial de Gas Licuado de Petróleo (WLPGA) señala que el gas licuado de petróleo (GLP) es una fuente energética transportable, limpia y eficiente de disponibilidad inmediata para los consumidores, estas características han convertido al combustible en pilar fundamental de la matriz energética de América Latina y el Caribe, es por ello que en el Perú es la principal fuente de energía usada a nivel doméstico e industrial.

Según Osinerming, la comercialización de Gas Licuado de Petróleo (GLP) es un segmento de crecimiento importancia en la industria de hidrocarburos tanto por el crecimiento de sus ventas como por los retos que se plantean en su distribución. Así, las ventas anuales de industria de GLP envasado, tanto a nivel residencial como industrial, representan actualmente un valor aproximado de US\$ 445 millones.

Dos de los más importantes proveedores de gas en nuestro país son Repsol y Petroperú, los cuales proveen de este insumo a la empresa Costa Gas S.A.C., dedicada a este rubro desde el año 1979, poseedora de plantas envasadoras instaladas en todo el norte del Perú en las ciudades de Tumbes, Talara, Piura, Chiclayo, Chimbote y Trujillo.

En la actualidad debido a los altos niveles de competitividad entre las diferentes distribuidoras, la gestión logística se ha convertido en un elemento de carácter estratégico; debido a ello Costa Gas Trujillo

cuenta con siete unidades de transporte: dos graneleros y cinco camiones, los cuales tienen como labor la distribución del GLP entre los distritos que conforman dicha Provincia, buscando optimizar su distribución y rentabilidad en base a sus ventas diarias, que aproximadamente son de 1500 balones de 10 y 45 kilogramos, equivalente a \$57000.

Aun considerando lo antes mencionado, la empresa Costa Gas se encuentra en la misma situación que las otras empresas distribuidoras de GLP en la región, las cuales no abordan el problema de ruteo de vehículos (VRP), ellas utilizan su conocimiento empírico para realizar sus entregas, debido a esto se manifiestan errores en el desarrollo de las rutas, donde el principal afectado es el cliente.

Es por esta situación problemática que la empresa Costa Gas tiene un 20% de quejas demandante el día por la demora en los tiempos de entrega originando un efecto creciente en los costos de distribución y transporte.

b. Descripción del problema

La empresa no aplica un método en la planeación de sus rutas vehiculares para la repartición de los productos a sus clientes, por lo que no tiene una herramienta de toma de decisión que le permita visualizar por donde iniciar a repartir y donde terminar, lo hacen de manera empírica, lo cual implica descuidar a los clientes que de cierta manera son importantes o que tienen una mayor demanda, ocasionando un nivel de servicio irregular y eventualmente pérdidas económicas y de recursos.

Hay una gran cantidad de clientes con los que se cuenta, de los cuales se dividen en dos tipos: tiendas de autoservicio y mayoristas. Los mayoristas son bondadosos en el tiempo de entrega es decir que no se aplican las restricciones de tiempo y el volumen de demanda es muy bajo y por lo general las entregas a estos clientes son en tiendas. En las tiendas de autoservicio es todo lo contrario.

Por lo tanto, la empresa requiere un análisis del problema de ruteo vehicular para modificar su red de distribución y obtener una adecuada planificación, lo cual significa minimizar los costos de transporte, considerando la demanda de los clientes y respetando la capacidad de los vehículos.

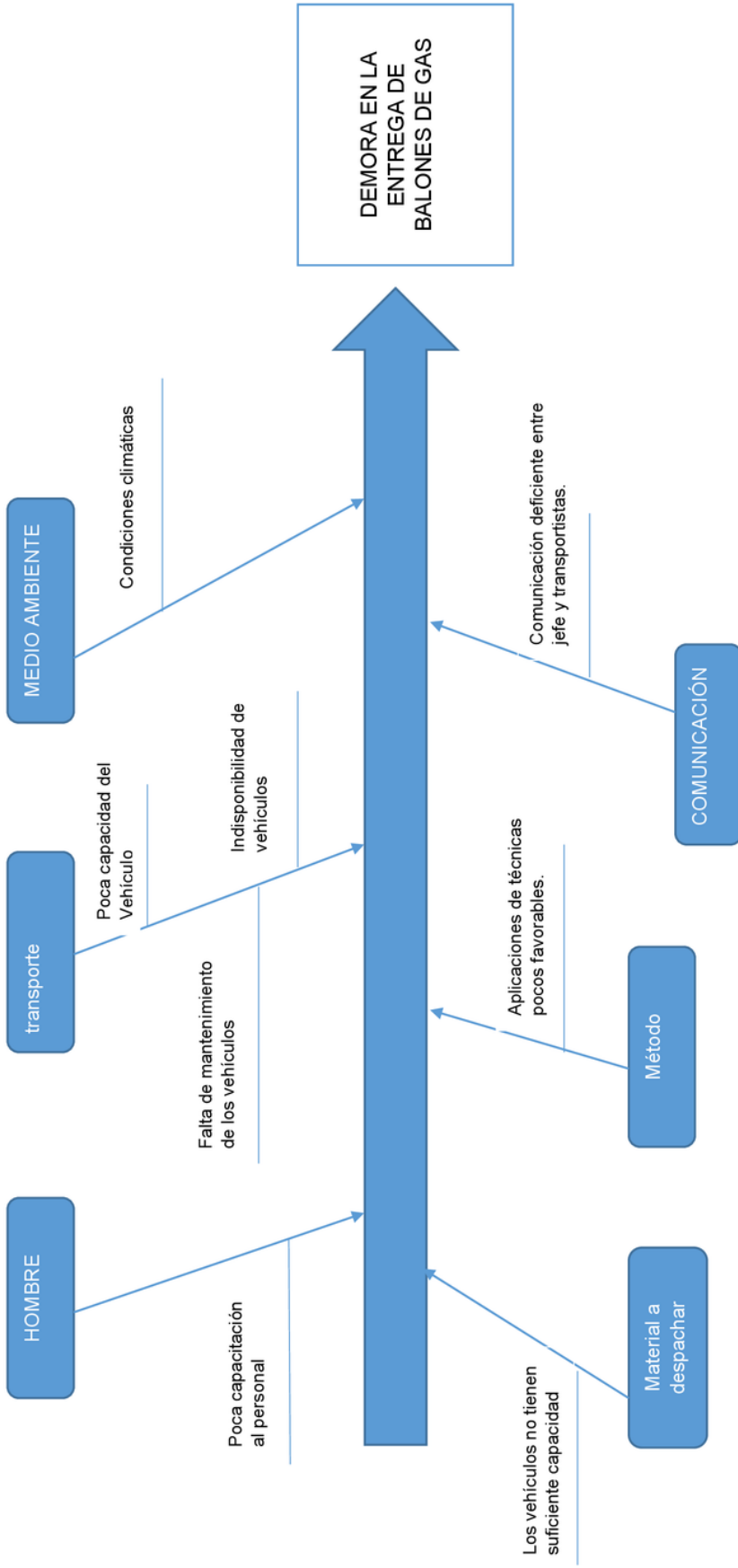
Dentro de este análisis se requiere determinar la cantidad y las rutas a seguir. Y debido a que solo se analizaran 16 destinos, se considerará que se cuenta con una flota homogénea de 5 vehículos con capacidad de 8 toneladas, con lo cual se podrá concluir con el número de rutas factible para satisfacer la demanda de los clientes.

Dicha empresa realiza su distribución las 24 horas del día y se hacen acuerdos previamente para no tener problema con la recepción del producto, con lo cual las ventanas de tiempo son despreciables.

A continuación, se enlistan los parámetros requeridos para resolver el problema de ruteo mediante el algoritmo Clarke y Wright:

- Objetivo: minimizar costos de transporte y diseño de nuevas rutas de reparto.
- Tamaño de flota conocido: 3 vehículos con capacidad de 8 toneladas cada uno. Se considera flota homogénea., es decir la capacidad de los vehículos, donde los vehículos a utilizar son de una capacidad de 8 toneladas (flota homogénea).

- Operaciones de reparto.
- Único depot.
- Números de clientes: 16
- Demandas determinísticas: Los clientes solicitan el producto mediante balones.
- La distancia promedio entre todos y cada par de enlaces que existen entre las tiendas; la cual se obtuvo con la aplicación de Google Maps.



c. Formulación del problema

¿El diseño de un modelo de distribución y transporte tendrá un impacto en los costos del centro de Distribución de la empresa Costa Gas S.A.C.-Trujillo?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. General

Diseñar un modelo de red de distribución y transporte de balones de gas, y medir su impacto en los costos del área, en la empresa Costa Gas S.A.C de la ciudad de Trujillo.

1.2.2. Específicos

- Identificar las rutas y puntos de distribución actuales de los balones de gas de la empresa Costa Gas SAC. en la ciudad de Trujillo.
- Elaborar un modelo de distribución y transporte de los balones de gas (Método de Ahorros), basado en el Vehicle Routing problem (VRP)
- Evaluación y comparación de la situación actual y modelo de distribución y transporte propuesto, por punto de distribución, que optimice la capacidad disponible de las unidades de transporte.
- Determinar el impacto del diseño de distribución de balones de gas en los costos del área.

1.3. Justificación del estudio

Actualmente se observa un alto nivel de competitividad entre las empresas, por ello las organizaciones se ven obligadas a innovar y generar nuevas estrategias para diferenciarse de sus principales competidores. Las empresas de todos los ámbitos se enfrentan al problema de ruteo vehicular (VRP), ya que el servicio al cliente entra en una búsqueda de ventajas competitivas en donde no tendría sentido si no se basase en un empeño constante de la empresa en satisfacer plenamente las necesidades planteadas por sus clientes. Es por ello que uno de los puntos vitales para lograr una ventaja competitiva es la determinación del plan de rutas a seguir para mover los productos desde el centro de producción a los clientes o consumidores. La mala planificación del transporte, evidentemente, provocara desfases e ineficiencias, calificando al servicio de transporte como deficiente y de mala o baja calidad. Por esta razón, debe ser considerado en la coordinación y planificación del abastecimiento, de manera de facilitar y mantener el control sobre los flujos y así poder reaccionar a los rápidos cambios en la demanda. Debido a esta situación es necesario apoyarse en una herramienta que garantice la fiabilidad del ruteo (Tejero, 2007).

El trabajo de investigación que se presenta fue tomado en consideración, ya que se conoce la realidad de la empresa Costa Gas S.A.C.- Trujillo debido a visitas realizadas, el mismo detalla la importancia de potenciar la gestión logística en la organización, estableciendo estrategias para operar eficientemente la red de distribución a corto, mediano y largo plazo, reduciendo los costos, mediante la aplicación de herramientas de la ingeniería industrial.

Se logra principalmente la satisfacción de los clientes y cumpliendo también con los objetivos empresariales establecidos.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

Milla O (2013) En la tesis titulada “Plan de mejora del almacén y planificación de las rutas de transporte de una distribuidora de productos de consumo masivo” para obtener el Licenciado en Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Católica del Perú. La investigación tuvo como objetivo principal brindar un plan de mejora integral para la gestión de los procesos logísticos de una distribuidora de productos de consumo masivo abarcando para ello problemas desde la entrada de productos hasta su distribución a los clientes. Debido a que el área de procesos de recepción, almacenaje, picking y despacho no cuenta con un diseño de rutas, entrega de productos en la empresa. Su desarrollo se inicia realizando un Diagnostico de la empresa y luego algoritmos matemáticos para la modelación y optimización de procesos. Con el fin de mejorar la gestión de la distribución física de productos, para las cuatro zonas en estudio, dos rutas de transporte teniendo en cuenta el estudio de clústeres o agrupación de puntos de reparto.

Aporte: Amplios conocimientos con respecto al algoritmo Clarke & Wright o algoritmo del ahorro.

Aguirre O (2012) En la tesis titulada “Propuesta para reducir el costo logístico del transporte primario desde la cervecería del valle a los diferentes centros de distribución mediante un modelo matemático”. Para obtener el grado de Master en Ingeniería con Especialización En Investigación de Operaciones, Universidad ICISE. La investigación tiene como objetivo tener un producto de calidad a un costo competitivo y entregarlo en el menor tiempo posible a sus consumidores. Debido a que las empresas prestan cada vez más atención a la logística en su

organización ya que está involucrada tanto en el costo, como en el tiempo de entrega y la calidad de un producto puede sufrir significativamente en una cadena de distribución ineficiente. Su desarrollo se inicia realizando un estudio de la empresa y la implantación de un modelo matemático en AMPL. Debido a que La Cervecería del Valle debe entregar productos a los diferentes centros de distribución ubicados a lo largo del territorio nacional, para ello utiliza dos tipos de vehículos Sider o Tractomulas a Estacas. Por ultimo adquirir conocimientos del modelo matemático permitirá a futuro lograr a la Cervecería del Valle minimizar los costos logísticos, utilizando la información de las cantidades a abastecer brindada por Supply Chain y de esta manera al introducir estos datos al modelo y correr el modelo.

Aporte: Una visualización amplia sobre cómo implementar un modelo matemático para obtener como efecto la reducción de costos del área de logística.

Ruiz (2010) En la tesis titulada "DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS DOMÉSTICO PARA EL CONJUNTO RESIDENCIAL MIGUEL OTERO SILVA- BARCELONA". De la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui Escuela de Ingeniería Química Departamento de Ingeniería Química cursos especiales de Grado Áreas de Gas.

Esta investigación está concebida dentro la modalidad de proyecto factible, apoyada en una investigación de campo y documental. Para el logro de este objetivo se ubicaron infraestructuras de gas metano cercanas a las poblaciones que sirvieran como fuente de alimentación para el sistema de distribución, igualmente se determinó la demanda de gas metano doméstico actual, así como también, la proyección de la misma para otros sectores aledaños; luego con la ayuda de la información física y manejo de programas de información geográfica

sobre la distribución de la población, se dimensionó dicho sistema.

Aporte: Atraves de un diseño de una red distribución tenemos que hacer proyecciones para evaluar si es óptimo y así saber las ganancias que se obtendrá implementar dicho proyecto.

Cadillo Paredes (2011) En la tesis titulada "ESTUDIO COMPARATIVO DE LA APLICACIÓN DE HEURÍSTICAS AL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS". Para obtener el grado bachiller de Ingeniero Industrial, Pontificia Universidad Católica del Perú. La investigación tiene como objetivo diseñar un modelo para la resolución de este VRP (Vehicle Routing Problem) a partir de las distancias recorridas por el transporte hacia cada uno de los puntos de la red. Su desarrollo se inicia realizando un previo estudio y la aplicación de Heurísticos para el ruteo de la empresa y así facilite la optimización de distancias. Por ultimo adquirir conocimientos de aplicaciones heurísticas teniendo como resultado la comparación de software cual es el más óptimo y que no genere gastos a la empresa.

Aporte: Brindó conocimientos de aplicaciones heurísticas para el diseño de un modelo de distribución.

2.2. Marco teórico

2.2.1. VRP (Vehicle Routing Problem)

(Liong.C.Y., 2008)El problema de ruteo vehicular es una parte de la investigación de operaciones en donde se manejan restricciones que tratan de reflejar con mayor realismo la operación de los vehículos y que consecuentemente aumentan dificultad a la búsqueda de una solución factible,

(Ramser., 1959)El objetivo del VRP es satisfacer las demandas conocidas de los clientes (destinos) mediante una red de distribución, asistido por una flotilla de vehículos que inician y terminan en un depot.

(Laporte, 2007) El VRP es un problema combinatorio NP-completos (No-determinístico polinomial), esto es, los problemas que no se pueden resolver en un tiempo polinomial Donde el tiempo polinomial es cuando el tiempo de ejecución de un algoritmo (mediante el cual se obtiene una solución al problema) es menor que un cierto valor calculado a partir del número de variables implicadas (generalmente variables de entrada) usando una fórmula polinómica.

(Luer, 2009)El tiempo y esfuerzo computacional requerido para resolver este problema aumenta exponencialmente respecto al tamaño del problema, es decir, la cantidad de nodos a ser visitados por los vehículos. Para este tipo de problemas es a menudo deseable obtener soluciones aproximadas, para que puedan ser encontradas suficientemente rápido y que sean suficientemente buenas para llegar a ser útiles en la toma de decisiones.

Los problemas combinatorios constan de tres elementos principales.

1. Variables independientes o también llamadas variables de decisión.
2. Función objetivo (F.O.) en donde dependiendo del caso se minimiza (costos), o se maximiza (ganancias).
3. Limitaciones o también llamados restricciones que pueden ser de capacidad, tiempo, distancia, mano de obra (M.D.O.) o materias primas.

Un problema combinatorio ofrece encontrar una solución factible entre un conjunto finito de opciones que pueden ser de naturaleza discreta, lo cual causa que su solución sea compleja de encontrar.

(Toth P., 2014) Es por eso que en esta clase de problemas, para llegar a una solución óptima hay que revisar todas las posibles soluciones ya que no tiene un algoritmo exacto que pueda resolverlo. Y para encontrar una solución óptima se aplican técnicas de programación lineal entera como el método Branch and Bound o algoritmos heurísticos como el de Clarke and Wriqth, el cual se detallará más adelante.

De esta manera se dice que el VRP se encuentra en el ámbito de los problemas combinatorios.

El VRP consiste en encontrar la ruta con el menor costo, usando la cantidad mínima de vehículos para visitar a un conjunto de clientes distribuidos geográficamente.

El problema de ruteo vehicular (VRP) se detalla de la siguiente forma: primero se debe considerar un conjunto de puntos o destinos $\{1, 2, \dots, n\}$ en los cuales se llevara una cantidad $Q(i)$, $i = 1, \dots, n$, desde un depot que se denota con el número 0 (origen, estación donde se cargan o descargan los vehículos de

transporte de mercancías) "0". Se debe cumplir la condición de solo visitar los destinos una sola vez.

Para cumplir con la demanda de los diferentes destinos se dispone de una flota de vehículos de capacidad Q. Y se deberá diseñar una serie de rutas en donde la distancia a recorrer sea la mínima de tal manera que la ruta inicie y finalice en el origen y además los vehículos no deben exceder su capacidad máxima de transporte.

2.2.1.1. Componentes de un problema de Ruteo de Vehículos.

Los problemas de ruteo de vehículos son tan variados en la industria ya que presentan múltiples restricciones. En cada una de sus variantes existen cuatro puntos en común las cuales son las causantes de sus diferencias. En general un VRP consta de tres elementos que son: clientes, vehículos y depósitos y a sus vez estos tres elementos están englobados en una red de transporte el cual se considera el cuarto elemento fundamental.

2.2.1.2. Los clientes o destinos.

El cliente tiene la importancia principal ya que es el que hace la demanda al depot, el siguiente paso para el depot es buscar un vehículo que logre transportar la demanda. Es común que la demanda sea la necesidad de un conjunto de productos que ocupan volumen y peso en los vehículos, y como la capacidad de transporte del vehículo es limitada, es usual que un mismo vehículo no pueda satisfacer la demanda de todos los clientes. Por otro lado, la demanda no siempre será conocida también existe el caso en que la demanda resulta estocástica.

(Garces, 2010) se expresa que el servicio a los clientes no siempre implica distribuir producto desde el almacén hacia ellos, también puede entenderse que los clientes son proveedores, y por tanto se trataría de recoger mercancía para provisionar un almacén. En el caso de tratarse de una necesidad de servicio, el cliente simplemente debe ser visitado por el vehículo. Un mismo vehículo podría (en teoría) visitar a todos los clientes. El servicio requerido por el cliente podría ser también el de ser transportado hacia otra ubicación (servicio de transporte). En muchas ocasiones se trata de visitar al cliente exactamente una vez, sin embargo, en otros casos puede aceptarse que su demanda pueda ser atendida de manera fragmentada o por vehículos diferentes. Los clientes podrían tener restricciones de horario, en forma de intervalos o ventanas de tiempo dentro de las cuales se debe atender su servicio. También podría tenerse en cuenta no sólo el tiempo de recorrido por la red, sino el tiempo de servicio al cliente (carga y descarga).

También podrían existir restricciones de asociación entre vehículos y clientes, de manera que determinados clientes sólo puedan ser atendidos por determinados vehículos (por ejemplo, vehículos grandes y pesados que no pueden circular por calles estrechas o el centro urbano).

2.2.1.3. Depots (estación donde se cargan o descargan los vehículos de transporte de mercancías).

(Toth P., 2014) Existen variaciones en los problemas que consideran problemas multi-depot en los que cada depot tiene características propias como la ubicación y la

capacidad de almacenamiento. Existe otra variante en la cual el dueño del vehículo no tiene la obligación de regresar al depot, por lo tanto, se considera que es un VRP abierto o libre.

Puede ocurrir, que cada depot tenga una flota de vehículos asignada a priori o que dicha asignación sea parte de lo que se desea determinar. Los depots, al igual que los clientes, pueden tener ventanas de tiempo asociadas. Por ejemplo, se debe tomar en cuenta que los vehículos son elementos que eventualmente tendrán una descompostura o simplemente se les tiene que dar mantenimiento y por lo tanto se debe tener en cuenta el tiempo de reparación o simplemente tomar en cuenta el tiempo que se requiere para hacerle una limpieza al vehículo. De igual prioridad se debe considerar los tiempos de maniobra (carga– descarga) antes de iniciar su recorrido.

2.2.1.4. Vehículos

(Garces, 2010) Los vehículos están definidos por un conjunto de atributos, como su capacidad de carga en peso, en volumen, sus costos asociados. En un vehículo se pueden transportar diferentes tipos de productos o uno sólo, asimismo su contenedor podría estar compartimentado o no.

En la utilización de un vehículo se incurre en unos costos fijos por uso, y variables en función del tiempo, distancia u otros parámetros. Cuando los vehículos comparten unas mismas características se dice que la flota es homogénea, y en caso contrario se le llama flota heterogénea.

El número de vehículos disponibles de una flota puede ser un dato conocido o una variable de decisión. El objetivo es intentar utilizar la menor cantidad de vehículos, y durante un recorrido lo ideal es que los tiempos de transporte entre cada destino sean equilibrados para que un solo vehículo cumpla con visitar a todos los destinos en un solo día y de esta manera regrese al depot para realizar una nueva ruta si se requiriese, y en segundo lugar minimizar la distancia o tiempo empleado de su ruta. Es conveniente considerar que el vehículo que se elija para hacer el recorrido no tenga problemas de compatibilidad con el cliente, es decir que si un cliente demanda una gran cantidad de artículos este vehículo sea capaz de cumplir con la demanda y así con cada cliente para finalizar el recorrido de forma exitosa.

(Garces, 2010) La ley o los convenios laborales pueden imponer restricciones sobre el tiempo máximo que un vehículo debe estar en circulación (descanso o relevo de conductores), su velocidad y carga máxima, e incluso el paso por determinadas zonas de la red.

En general en la literatura se asume que un vehículo sólo recorrerá una ruta en el período de planificación, pero también se pueden encontrar modelos en los que un mismo vehículo podría participar de más de una ruta.

2.2.1.5. Representación gráfica del VRP (Vehicle Routing Problem).

Cuando se tienen diferentes puntos de entrega, da a

lugar a diferentes características de los clientes, depósitos y por supuesto los vehículos y además las distintas restricciones que se presentan dan origen a distintas variantes del VRP. Es por ello que la asignación de rutas siempre será distinta y aún más porque el VRP siempre es dinámico.

En la Figura 1,

Ilustración 1: se muestra un ejemplo del resultado deseado de una red de distribución, además en la siguiente figura se resaltan los elementos principales del modelo gráfico



Figura 1. VRP (Vehicle Routing Problem) Gráfico.
Fuente: Elaboración Propia basado en (G.M. Giaglis, 2004)

2.2.1.6. Modelo matemático del VRP (Vehicle Routing Problem).

(Bermeo, 2009) Se modela mediante un grafo $G = (V, E)$, donde:

a) $V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_n\}$ es el conjunto de vértices v_i $1 \leq i \leq n$, que representan los clientes y v_0 representa el depot. Además cada cliente tiene una demanda q_i a satisfacer por el depot.

b) $E = \{(i, v_j) | v_i, v_j \in V \forall i \neq j\}$, representa el conjunto de arcos, donde cada arco tiene asociado un costo de

transporte C_{ij} de v_i a v_j .

De acuerdo a (Laporte G. , What You Should Know about the Vehicle Routing Problem, 2007), cuando la matriz es simétrica $C_{ij} = C_{ji}$

El objetivo del VRP es obtener una configuración con la mínima cantidad satisfaciendo las demandas de todos los clientes. Para ello se debe determinar un conjunto R de rutas de costo mínimo que inicien y terminen en el depot, donde cada vértice $v_i \in V - \{v_0\}$ es visitado solo una vez.

2.2.2. Variantes del VRP (Vehicle Routing Problem).

La aplicación del problema de ruteo vehicular es muy amplia y más aún hoy en día ya que las diversas necesidades de los clientes hacen que las fábricas o plantas de distribución tengan la necesidad de buscar opciones para satisfacer las demandas constantes de los clientes. Por ejemplo, se enfrentan a problemas donde la capacidad de los vehículos es heterogénea, o en donde la hora de entrega de productos o materia prima es vital que se cumpla, también llamado como ventanas de tiempo, así como el tamaño máximo de ruta.

Otro ejemplo se trata de un vehículo genérico, pues, puede visitar C clientes como máximo por restricciones de capacidad. Las restricciones pueden venir por peso o volumen (depende del tipo de mercancía) o, simplemente tiempo.

(Rocha, 2011) En la literatura, las variantes del problema de ruteo vehicular incluyen una larga familia de problemas de optimización. Las variantes más relevantes se mencionarán a continuación en la Tabla 2,

2.2.3. Problema con capacidades o Capacited VRP (CVRP).

En este problema se tiene una flota de vehículos con capacidad homogénea en la cual se deben atender las demandas conocidas de los clientes a un costo mínimo de transporte. Se cuenta con n clientes, un depot (origen), y se conocen las distancias que existen de cada cliente al depot, así como las distancias entre los clientes. En esta variante se tiene que hallar los recorridos que deben realizar los vehículos. La única restricción que existe es que la suma de la demanda de los clientes que son visitados en una trayectoria no debe exceder la capacidad del vehículo. El objetivo es obtener un conjunto de rutas tal que minimice la distancia total recorrida. Problema con capacidades o Capacited VRP por sus siglas en inglés CVRP. Problema con Flota Heterogénea (HVRP) Problema con Ventanas de Tiempo (VRP with Time Window – VRPTW). Problema con Múltiples Depósitos (Multiple Depot VRP-MDVRP). Problema de entregas divididas con diferentes vehículos (Split Delivery VRP – SDVRP). Problema con demanda estocástica (SVRP). Problema con entregas y devoluciones (VRP with Pickup and Delivery – VRPPD).

2.2.3.1. Variables de decisión del modelo CVRP

La variable X_{ij} es una variable binaria que indica si el vehículo viaja directamente del destino i al destino j , tomando los siguientes valores:

- ♣ $X_{ij}=1$, si el arco (i, j) es visitado por el vehículo k
- ♣ $X_{ij}=0$, caso opuesto

2.2.3.2. Modelo matemático del CVRP.

(Daza, 2012) El modelo matemático corresponde a una extensión del problema m-TSP (múltiples agentes viajeros), a continuación se muestra el modelo que es

una formulación dada por Miller, Tucker y Zemlin expuesta en:

$$\min Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n C_{ij} X_{ij} \dots (1.1)$$

Sujeto a:

$$\sum X_{0j} = m \quad j \in \dots (1.2)$$

$$\sum X_{i0} \quad i \in V = \dots (1.3)$$

$$\sum X_{ij} \quad j=1 = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \dots (1.4)$$

$$\sum X_{ij} \quad i=1 = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \dots (1.5)$$

$$X_{ij} = \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in E$$

$$\sum_{i \in S, i \in C} C_{ij} X_{ij} \geq r(s) \quad S \in V \dots (1.6)$$

$$(s) = \min \sum_{k \in K} Y_k \dots (1.7)$$

Sujeto a: $\sum_{i \in S} d_i X_{ik} \leq CY_k \quad \forall k \in \dots (1.8)$

$$\sum X_{ik} = 1 \quad k \in K \quad \forall i \in \dots (1.9)$$

$$X_{ij} = \{0, 1\} \quad \forall i \in S, \forall k \in K \quad Y_k = \{0, 1\} \quad \forall k \in K$$

♣ En las ecuaciones (1.2) y (1.3) indican que a lo más se utilizarán m vehículos en la solución y que cada vehículo que abandona el depot debe regresar.

♣ Las ecuaciones (1.4) y (1.5) establecen que los clientes deben ser visitados exactamente una vez

♣ La ecuación (1.6) indica la restricción de capacidad.

♣ En las ecuaciones (1.7) a (1.9) resuelven las cuestiones siguientes: la primera es que la expresión (s) se utiliza para resolver la eliminación de sub-tours no factibles y a su vez para establecer las restricciones de carga de los vehículos.

También se asume que cada cliente i tiene asociada una demanda d_i , y cuya asignación a los vehículos no debe exceder la capacidad Q .

♣ S , representa al conjunto de clientes, donde:

$$(S) = \sum_{i \in S} d_i \dots (1.10)$$

- ♣ (S) representa la demanda total del conjunto de clientes.
- ♣ (s) es el número de la cantidad mínima de vehículos para servir a todos.
- ♣ K, representa a un conjunto con suficientes vehículos para satisfacer la demanda.

2.2.4. Problema de Ruteo Vehicular con Flota Heterogénea (HVRP)

En esta variante se presenta cuando se tienen vehículos de diferentes capacidades de carga, nivel de emisiones o incluso antigüedad, es decir se tiene una flota heterogénea.

El HVRP tiene los siguientes parámetros:

n : Número de clientes a servir

$V = \{0, 1, \dots, n\}$ Conjunto de índices de los nodos en la red, donde el 0 corresponde al depot.

d_i : Demanda del cliente i

En esta variante existen $T = \{1, 2, \dots, |T|\}$ tipos de vehículos. La capacidad de los vehículos $k \in T$ es q_k y su costo fijo (solo si existe para q_k) es f_k .

Los costos de viajar de i a j son C_{ijk}

Los vehículos deben estar ordenados en forma creciente por capacidad, es decir: $q_{k_1} < q_{k_2}$ para $k_1, k_2 \in T$, $k_1 < k_2$

2.2.4.1. Modelo matemático del Problema de Ruteo Vehicular con Flota Heterogénea (HVRP).

El siguiente modelo está basado en el modelo utilizado en (Olivera, 2004)

$$\min Z = \sum_{k \in T} f_k \sum_{j \in C} X_{0jk} + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} C_{ijk} X_{ijk} \dots \quad (1.11)$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{k \in K} \sum_{j \in C} C_{ijk} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in V - \{0\} \dots \quad (1.12)$$

$$\sum_{j \in C} X_{ijk} - \sum_{j \in C} X_{ijk} = 0 \quad \forall i \in V, \forall k \in \dots \quad (1.13)$$

$$r_0 = 0 \quad \dots \quad (1.14)$$

$$r_i - r_j \geq (d_j + q|T|) \sum_{k \in K} X_{ijk} - q|T| \quad \forall i \in V - \{0\} \dots \quad (1.15)$$

$$r_j \leq \sum_{k \in T} q_k \sum_{i \in V} X_{ijk} \quad \forall i \in V - \{0\} \dots \quad (1.16)$$

$$X_{ijk} = \{0, 1\} \quad \forall (i,j) \in E, \forall k \in T \quad r_j \geq 0 \quad \forall j \in V$$

- ♣ Las variables X_{ijk} toman valor 1 si el arco (i,j) es recorrido por el vehículo k y 0 en caso contrario.
- ♣ Las variables r_i positivas indican la carga acumulada en la ruta correspondiente hasta el nodo i .
- ♣ La Función Objetivo (1.11) mide el costo total de la solución, se incluyen los costos fijos y variables.

Definición

1.1 La función objetivo es una relación matemática entre las variables de decisión, parámetros y una magnitud que representa el objetivo o producto del sistema. Es la medición de la efectividad en función de las variables. Determina lo que va a optimizar, la F.O., puede ser de maximización o minimización (Ninaquispe, 2015).

- ♣ La expresión (1.12) indica que todo cliente debe ser visitado por algún vehículo.
- ♣ La restricción (1.13) establece que si un vehículo de tipo k llega al nodo i , entonces un vehículo del mismo tipo debe ser abandonado.
- ♣ Las restricciones (1.14) y (1.15) se utilizan para la eliminación de subtours.
- ♣ La restricción (1.16), muestra la capacidad de los vehículos.

Cabe señalar que no todas las empresas tienen una flota de vehículos ilimitado, por lo cual este problema se divide en flota limitada (HVRP) y de flota ilimitada (Fleet Size and Mix – FSM). También se considera si los costos son fijos o variables y se añaden las letras F y D proporcionalmente, dando como resultado las siguientes variantes:

- ♣ HVRPD, Problema de ruteo vehicular de flota heterogénea con costos dependientes de cada ruta.
- 19
- ♣ HVRPFD, Problema de ruteo vehicular de flota heterogénea con costos fijos y variables.
- ♣ FSMD, Fleet Size and Mix VRP con costos variables.
- ♣ FSMF, Fleet Size and Mix VRP con costos fijos.
- ♣ FSMFD, Fleet Size and MixVRP con costos fijos y variables.

2.2.5. Problema con Ventanas de Tiempo (VRP with Time Window – VRPTW).

En este problema se siguen tomando en cuenta las restricciones de capacidad y a cada cliente i se le asocia con un intervalo $[a, b]$ lo cual se considera como ventana de tiempo, en donde el cliente debe ser atendido dentro de un horario ya establecido anteriormente, con lo cual nos lleva a pensar que si no se cumple con dicha ventana de tiempo existe una penalización por parte del cliente.

(Liong.C.Y., 2008)El objetivo es minimizar distancias para no caer en penalizaciones. Entonces la solución no será factible si un cliente no es abastecido después del límite superior del intervalo, pero si un vehículo llega antes del intervalo, es decir que llegue antes de la hora establecida para entregar la

demanda, habrá un incremento en el tiempo de espera ocasionando penalizaciones en la función objetivo (F.O).

Además, existen ventanas de tiempo duras y suaves, el caso de las ventanas de tiempo duras, si un vehículo llega demasiado temprano a realizar la entrega, se le permite esperar al cliente hasta que el vehículo esté listo para ser atendido, aunque no se permite llegar después del intervalo de tiempo establecido. Y en el caso de las ventanas de tiempo suaves el intervalo de tiempo puede ser quebrantado, pero se paga con una penalización en la F.O.

2.2.6. Problema con Múltiples Depósitos (Multiple Depot VRP-MDVRP).

Para esta variante se tienen más de un depot y además en cada depot se tiene una flota de vehículos con capacidad conocida, los cuales tienen rutas asignadas cada uno para iniciar y finalizar en ese mismo depot.

Este modelo se puede considerar como un CVRP o VRP independiente, ya que los clientes se agrupan en torno a los depots. Sin embargo mientras que los clientes y los depots estén mezclados se considera como un MDVRP.

En general este problema tiene por objetivo servir a todos los destinos reduciendo al mínimo el número de vehículos del recorrido y la suma del tiempo de viaje.

2.2.7. Problema de entregas divididas con diferentes vehículos (Split Delivery VRP – SDVRP).

El problema con entregas divididas es una variante en la que se permite que un mismo cliente pueda ser servido por diversos vehículos con la condición de reducir los costos totales de operación.

Este problema sucede cuando la demanda es mayor a la capacidad de los vehículos. Se debe cumplir el objetivo de reducir al mínimo la flota de vehículos y la suma del tiempo de los recorridos necesarios para satisfacer a todos los destinos.

2.2.8. Problema de Ruteo Vehicular con demanda estocástica (SVRP).

Existen tres tipos diferentes de problemas SVRP:

- a. Clientes Estocásticos; Los destinos disponen de una probabilidad de presencia (P) o ausencia con una probabilidad ($1 - P$).
- b. Demandas Estocásticas; La demanda de los clientes es una variable estocástica.
- c. Tiempos Estocásticos;

El tiempo de servicio de los destinos y el tiempo de recorrido son variables estocásticas. El objetivo de esta variante es minimizar la distancia total que recorre el vehículo de manera que considerando la aleatoriedad de las variables los destinos sean servidos de acuerdo a sus demandas. Se debe presentar una gran atención para la toma de decisiones ya que al manejar datos aleatorios se puede incumplir en las restricciones.

2.2.9. VRP with Backhauls – VRPB (Problema de ruteo vehicular con carga de retorno).

Para esta variante se toma como prioridad visitar a los clientes que requieren un servicio de entrega (linehaul), para posteriormente visitar a los clientes que requieren un servicio de devolución (backhaul). Esto surge del hecho de que los vehículos son cargados por la parte posterior y el reordenamiento de las cargas en los puntos de entrega no se considera factible.

El objetivo es encontrar un conjunto tal de rutas que minimiza la distancia total recorrida, cumpliendo con los siguientes puntos:

- ♣ Cada circuito visite el depósito.
- ♣ Cada cliente sea visitado por un único circuito.
- ♣ La demanda total de los destinos o clientes linehaul y backhaul visitados en cada circuito no supere, de forma superada, la capacidad C del vehículo.
- ♣ En cada ruta, los clientes linehaul preceden a los clientes backhaul.

(Rocha, 2011) Una de las soluciones viables del problema consiste en un conjunto de rutas en las que se hayan completado todas las entregas para cada ruta antes de tomar cualquier devolución y la capacidad del vehículo se mantiene sin cometer ninguna sobrecarga.

2.2.10. Problema con entregas y devoluciones (VRP with Pickup and Delivery – VRPPD).

Muchas de las ocasiones los productos que se envían para satisfacer la demanda del clientes no son los adecuados o simplemente tienen defectos de calidad y por lo tanto los clientes pueden regresar la mercancía, debido a esta razón se debe tener en cuenta que la mercancía que se devuelva debe caber dentro del vehículo 22 de entrega, estas acciones pueden corresponder a una operación de logística inversa.

Las mercancías a entregar y recoger pueden estar formadas por el mismo tipo de artículo o pueden diferir. Las entregas o devoluciones se pueden realizar en cualquier orden, es decir que no necesariamente el mismo vehículo debe llevar la devolución.

(Liong.C.Y., 2008)Es necesario tomar a consideración que los artículos que los clientes regresan deben caber dentro del vehículo de entrega. Esta restricción puede ocasionar un mal uso de la capacidad, incrementando la distancia de recorrido de más vehículos.

2.2.11. VRP with Satellite Facilities – VRPSF

Lo interesante de esta variante es el hecho de que los vehículos se pueden reabastecer sin necesidad de regresar al punto de origen del vehículo. Es decir, permite a los conductores hacer una reposición por satélite hasta el término de su turno sin regresar al depot. Esta situación se presenta principalmente en la distribución de combustibles o en artículos al por menor.

2.2.12. Técnicas de solución del VRP

Las técnicas usadas más comúnmente para resolver el VRP, en su mayoría son heurísticas y meta-heurísticas porque no existe ningún algoritmo exacto que pueda garantizar una solución óptima. Sin embargo, se han construido ejemplos o conjuntos de instancias de las cuales se puede obtener una solución óptima, sin embargo, son de tamaño moderado y los tiempos de ejecución de los algoritmos son generalmente grandes. Esta situación ha dado paso a considerar las técnicas de solución heurística como alternativa de solución, sacrificando la calidad de la solución por un tiempo de ejecución acotado por funciones polinomiales.

A continuación, podemos encontrar una clasificación de las técnicas de solución en donde hay una gran cantidad de ideas vertidas:

2.2.13. Métodos Exactos

(Luer, 2009) Como su nombre lo indica, este enfoque propone calcular todas las soluciones posibles hasta que se alcance la mejor. Estos métodos parten de una formulación como modelos de programación lineal y llegan a una solución factible gracias a algoritmos de acotamiento del conjunto de soluciones factibles. A lo cual se puede hacer referencia a los siguientes métodos:

2.2.13.1. Branch and bound (Ramificación y Acotamiento)

(Toth P., 2014) El método branch-and-bound ha tenido un uso extensivo en décadas recientes para resolver el CVRP y otras variantes. En muchos casos, para el CVRP asimétrico y las distancias con restricciones (Distance-Constrained CVRP (DCVRP)), estos algoritmos todavía representan el estado del arte con respecto a los métodos de solución exacta.

Este enfoque da cabida a las variaciones realistas, como los costos variables, ventanas de tiempo, y flota heterogénea.

(Cadillo Paredes, 2011) Se utiliza un espacio de soluciones en sub-problemas y luego optimiza individualmente cada sub-problema, obteniendo una cota inferior para el valor óptimo. Es decir que el problema se divide en dos procesos: En el proceso de ramificación tendremos en las ramas finales del árbol, todas las soluciones factibles enteras del problema original.

Este método trata de ir desarrollando un árbol con todas las posibles soluciones hasta llegar al punto en que una de las ramas del árbol ya no sea la mejor, en ese punto

se deja de construir el árbol por esa rama. Las cotas inferiores obtenidas son utilizadas para podar (acotar) la búsqueda, es decir, no resolver subproblemas que no mejorarán la mejor solución obtenida hasta cierto momento.

La ejecución de este algoritmo se desarrolla como si fuera el recorrido por un árbol con sus raíces en el cual cada sub-problema es un nodo y los sub-problemas en los que este es particionado son sus retoños.

2.2.13.2. Branch and cut (Ramificación y corte).

(Muñoz, 2009) Los algoritmos Branch & Cut se basan en el cálculo simultáneo de cotas inferiores y superiores de la solución óptima. Las cotas superiores se obtienen por medio de la resolución de las relajaciones lineales asociadas a cada nodo del árbol de enumeración, eventualmente ajustados por medio de planos de corte, mientras que las cotas inferiores son halladas por medio de procedimientos heurísticos y cuando la relajación lineal asociada con algún subproblema tiene óptimo entero. Las desigualdades válidas halladas para el problema, junto con procedimientos de separación adecuados, constituyen la base del algoritmo.

2.2.14. Métodos Heurísticos

(Luer, 2009) Una heurística es un algoritmo que permite obtener soluciones de buena calidad para un problema dado. Esto permite tener menores tiempos de ejecución, pero sin asegurar la optimalidad de la solución. Estos métodos realizan una exploración relativamente limitada del área de búsqueda y se caracterizan por arrojar soluciones aceptables.

2.2.14.1. Métodos Constructivos

Construyen gradualmente una solución factible, centrando la atención en el precio de la solución, esto se refiere a que cada iteración se agrega un nodo al recorrido del vehículo, aunque estos métodos no contienen una fase de mejora, es decir que la solución que se obtiene es la solución factible y se deberá aplicar aunque esta no sea la óptima, por ejemplo:

- ♣ Método de los Ahorros: Clarke and Wright
- ♣ Matching Based
- ♣ Multi-route Improvement Heuristics

2.2.14.2. Algoritmos de 2 – fases

El problema se descompone en dos componentes naturales:

- ♣ La agrupación de los vértices en rutas factibles
- ♣ Construcción de ruta real Con posibles bucles de retroalimentación entre las dos etapas. Esto sucede en los siguientes algoritmos:

2.2.14.2.1. Algoritmo Agrupar primero – Rutear después (Cluster-first / Routesecond)

(Cadillo Paredes, 2011)La estrategia de este algoritmo se ilustra por el algoritmo de barrido.

2.2.14.2.2. Algoritmo Rutear primero – Agrupar después (Route-first / Clustersecond)

(Rocha, 2011)Este algoritmo se compone de dos fases. En la primera fase se calcula una gran ruta que visita a todos los clientes

resolviendo un TSP sin tener en cuenta las restricciones del problema. Luego en la segunda fase, esta ruta gigante se descompones en varias rutas factibles, es decir, teniendo en cuenta la solución de la primera fase se determina la mejor partición teniendo en cuenta la capacidad del vehículo.

2.2.14.2.3. Algoritmo de Barrido (Sweep Algorithm)

En este algoritmo se considera que hay un depot central desde el que los vehículos parten a efectuar entregas regresando al terminar.

Rutas viables se crean mediante la rotación de un rayo centrada en el depot y gradualmente incluyendo a los clientes en una ruta del vehículo hasta que se alcanza la capacidad o la longitud restringida de la ruta. Una nueva ruta se inicia entonces y el proceso se repite hasta que todo el plano ha sido barrido.

Básicamente este algoritmo trabaja en dos etapas:

- ♣ Primeramente, a cada vehículo se le asignan sus paradas hasta completar la carga máxima que puede llevar.
- ♣ Seguidamente se determina el orden en que se visitaran las paradas por el vehículo, tratando de seguir principios de un buen ruteo.

(Laporte, 2007)Dicho algoritmo no maneja adecuadamente las restricciones de tiempo, ya sea en cuanto a cumplimiento de ventanas de tiempo o a restricciones en el tiempo total que deben viajar los vehículos.

Sin embargo, la posibilidad de generar con rapidez propuestas de ruteo para los vehículos proporciona una base con la cual los conductores pueden hacer los ajustes que se requieran.

2.2.14.2.4. Algoritmo de Pétalos

(Rocha, 2011)Este algoritmo es una extensión del algoritmo de barrido y se utiliza para generar varias rutas llamadas pétalos con el fin de hacer una selección final resolviendo un Set Partitioning Problem (Conjunto de particiones del problema). Se dispone de un conjunto de rutas R en la que cada cliente es visitado por varias rutas y se debe seleccionar un subconjunto de R que visite exactamente una vez cada cliente.

2.2.14.2.5. Meta – heurísticos

(Luer, 2009)Una meta heurística es una estrategia general para la resolución de una gran variedad de problemas para los que no existe un algoritmo confiable de resolución, ya sea por la complejidad del problema o por falta de estudios en la resolución de éste. La exactitud de las soluciones producidas por

estos métodos es mucho mayor que la obtenida por la heurística clásica.

2.2.14.3. Algoritmo Colonia de hormigas (Ant System)

Esta meta heurística utiliza una sola colonia de hormigas para minimizar simultáneamente las tres funciones objetivo: el número de vehículos utilizados, la distancia total recorrida y el tiempo total de entrega. El algoritmo Ant System se compone principalmente de la iteración de tres pasos:

- ♣ Generación de soluciones por las hormigas de acuerdo a la información privada y la feromona
- ♣ Aplicación de una búsqueda local a las soluciones de las hormigas
- ♣ Actualización de la información de feromonas

(Daza, 2012) Todas las funciones comparten los mismos rastros de feromonas. De esta manera, el conocimiento de buenas soluciones es igualmente importante para cada función objetivo.

(Muñoz, 2009) ¹ Este algoritmo está inspirado en la estrategia que usan las colonias de hormigas en la búsqueda de alimentos. Cuando una hormiga encuentra el camino para ir a la fuente de alimento deposita una sustancia (feromona) que depende de la longitud del camino y la calidad del alimento.

Las hormigas tienden a seguir los trayectos con mayor cantidad de feromonas puesto que es más probable que conduzcan más rápido hacia la fuente de alimento, lo que a su vez provoca un refuerzo de los mejores trayectos, es decir, los que demoren

menos tiempo y por donde transiten la mayor cantidad de hormigas.

En el caso de los VRP, el modo de funcionamiento de este algoritmo se resume así: se inicializa el algoritmo colocando una hormiga en cada nodo. Para la construcción de caminos, se utiliza una regla probabilística que asigna una probabilidad igual a cero si el nodo ya fue visitado y diferente a cero para el caso contrario. La hormiga visita el nodo que tenga una probabilidad mayor. En cada arco, se actualiza la "feromona" y finaliza si se obtiene una solución inferior a una cota preestablecida, de lo contrario se recalculan probabilidades y la hormiga sigue construyendo soluciones.

2.2.14.4. Algoritmos genéticos

(Bermeo, 2009) Este algoritmo parte de una población inicial de individuos que representan soluciones iniciales factibles, pero sub-óptimas. Seguidamente el algoritmo evoluciona mediante la aplicación de operadores evolutivos que combinan y modifican a los individuos de la población creando una nueva. Para cada individuo se define una función de aptitud $f(i)$ que califica su idoneidad. Usualmente, se trabajan tres operadores: selección, cruzamiento y mutación.

(Rocha, 2011) La forma de operar de estos algoritmos para la solución del VRP se resume de la siguiente forma. Se generan soluciones iniciales, las cuales representan cada viaje como una secuencia de ciudades (a diferencia de los algoritmos genéticos tradicionales que utilizan una representación de dígitos binarios).

Para cruzar dos soluciones, se toma una sub-ruta que no necesariamente cumpla que inicie y termine en el depósito, y se determina el cliente más cercano que no esté en la sub-ruta. Si la ruta no fuera factible, se divide. De ésta manera se genera un descendiente, es decir, una copia modificada de una de las soluciones iniciales. Usualmente para este tipo de problemas, se consideran cuatro operadores de mutación: intercambio de la posición de dos nodos en una ruta; inversión del orden de la ruta; reinserción de un nodo en una ruta diferente a la original y selección de una sub-ruta para insertarla en otro lugar de la solución.

2.2.14.5. Búsqueda Tabú

(Muñoz, 2009) Es un procedimiento que examina el espacio de soluciones más allá del óptimo local. Se permiten cambios hacia arriba o que empeoran la solución, una vez que se llega a un óptimo local. Simultáneamente los últimos movimientos se califican como tabús durante las siguientes iteraciones para evitar que se vuelva a soluciones anteriores y el algoritmo tome un ciclo. El término tabú hace referencia a un tipo de inhibición a algo, debido a connotaciones culturales o históricas y que puede ser superado en determinadas condiciones.

¹ Básicamente consiste en realizar una búsqueda local aceptando soluciones que mejoran el comportamiento del costo de tal manera que en cada iteración al algoritmo se mueve de una solución (s_t) a otra mejor (s_{t+1}) dentro de un subconjunto de

soluciones cercanas. Como $st+1$ no necesariamente es el menor costo, se utiliza una memoria de corto plazo que registre algunos atributos de soluciones ya visitadas.

Estas soluciones prohibidas son las llamadas soluciones tabú y las movidas que llevan a esas soluciones se llaman movidas tabú.

En algunos casos es necesario aceptar soluciones tabú porque poseen mejores atributos que las demás y para esto se utiliza un criterio llamado criterio de aspiración; el criterio también se usa para aceptar soluciones que no son tabú. A estas soluciones por las cuales pasa el criterio de aspiración se llaman soluciones admisibles y la búsqueda se realiza sobre las soluciones admisibles de la vecindad.

COSTOS DE LOGISTICA E INDICADORES DE DESEMPEÑO

2 COSTOS DE TRANSPORTE

(González, 2005) Por lo regular la empresa puede incurrir en dos tipos de servicio de transporte, el servicio externo y el servicio propio. El primero incluye la realización de un contrato por la prestación del servicio y el proveedor es el que fija la tasa que por lo regular está dada en términos de peso (Kg., toneladas) por distancia recorrida (kilómetros).

El servicio propio puede ofrecer varias ventajas a la empresa como (1) posibilidad de ofrecer un mejor servicio, (2) menores ciclos de tiempo en las órdenes, (3) capacidad de respuesta a una emergencia, y (4) mejorar el contacto con el cliente, y en algunos casos

(5) reducción de costos en caso de que el sistema de transporte sea manejado de manera eficiente, aunque también depende del tipo de actividades que desempeña la organización.

El contar con un servicio propio provocó la necesidad de separar los costos para tener un mejor control y administración del servicio. Los costos son agrupados en tres categorías:

- Costos fijos: que son aquellos que no varían con la distancia que el vehículo viaja en el periodo de tiempo. Estos incluyen el seguro del vehículo, licencias de los choferes, amortización del equipo y gastos asociados con el alojamiento de los vehículos.

- Costos del operador: que son considerados como compensación al chofer (es), que pueden incurrir en costos como seguros social, seguro de vida, pensiones, gastos de comidas, llamadas telefónicas, etc., que por lo regular ocurren en el tiempo en el que el vehículo se encuentra viajando.

- Costos de operación del vehículo: que son los costos que se incurren al mantener el vehículo en movimiento, por ejemplo combustible, llantas y mantenimientos, todos estos costos variables son divididos entre la distancia viajada para así obtener una tasa o un promedio de costo por distancia (Km. o millas) por vehículo.

CONSTRUCCIÓN DE RUTAS

(H.Ballou, 2004)plantea que para reducir los costos

de transportación y mejorar el servicio, el encontrar la ruta adecuada que minimice el tiempo o la distancia viajada puede ser una solución.

(H.Ballou, 2004) En el transporte, expresa que existen diferentes sistemas de rutas, las más comunes son:

- Donde el punto de origen y el punto de destino se encuentran separados es decir se empieza en cierto punto, tiene un trayecto predeterminado con varias paradas y termina en otro punto diferente al del inicio.
- Donde existen varios puntos de origen y de destino, en este caso existen distintos puntos de partida, varias rutas y diferentes puntos finales de destino.
- Donde el punto de origen y de destino coinciden.

Debido a la estructura de la organización el estudio se enfocará en el último sistema de rutas. Por lo que se profundizará a continuación.

Este tipo de sistema de rutas ocurre cuando existe un punto de inicio, posteriormente hay varios puntos intermedios donde se realiza una entrega y finalmente regresa al punto de origen.

Este sistema de transporte se utiliza cuando se cuenta con una flotilla de transporte y distribución propia.

Se tiene por entendido que una buena planeación de las rutas en este sistema se da, cuando la secuencia de la ruta no cruza los trayectos y no pasa por el mismo punto de entrega dos veces.

2.3. Marco conceptual

Lead time: El lead time o tiempo de entrega es la cantidad de tiempo que transcurre entre la emisión del pedido y la disponibilidad renovada de los artículos ordenados una vez recibidos, y es un factor clave a la hora de intentar optimizar el inventario

Redes de distribución: Llamamos redes a los sistemas de transferencia de informaciones, transporte de bienes, servicios y personas. Logística es la estructura de esas redes, su forma. Todo producto o servicio es distribuido y accede al consumidor o usuario, a través de una red logística

La competitividad: Incorpora una gran variedad de factores que la afectan. Para su valoración es necesario considerar indicadores cuantitativos y cualitativos.

Línea de Transporte: la línea de transporte está formada por 8 vehículos con capacidades distintas para diferentes rutas.

Nivel de servicio: Se percibe servicio no diferenciado: Entrega lenta; entregas fuera de horario; no se entrega información confiable del estado del pedido, bordea el 75% de entrega a tiempo.

2.4. Hipótesis

“El diseño de un modelo de distribución y transporte, reducirá los costos en el centro de distribución de la empresa Costa Gas. S.A.C.- Trujillo”

2.5. Variables e indicadores

- ✓ **Variable Independiente:** El diseño de un modelo de distribución y transporte.
- ✓ **Variable Dependiente:** Reducción de costos en la empresa costa Gas S.A.C

Cuadro 1: Operacionalización de las variables

Variable	Indicador	Definición
El diseño de un modelo de distribución y transporte	Distancia de recorrido	Es la distancia en Kilómetros que recorre la unidad de transporte durante el reparto diario de balones de gas.
	Tiempo de recorrido	Es el tiempo que realiza la unidad de transporte durante el reparto diario de balones de gas.
Reducción de costos en la empresa costa Gas S.A.C		Para este estudio, es el costo de combustible incurrido expresado en soles que genera la unidad de transporte durante el reparto diario de los balones de gas.

Fuente: Elaboración Propia

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

Por el propósito o finalidades perseguidas Aplicada, buscaremos la utilidad de la investigación, implementada en la realidad para obtener un resultado práctico.

Descriptiva y longitudinal, ya que identificaremos las relaciones que existen entre dos variables, describiendo la situación concreta predominante en la empresa, y analizaremos los cambios a través del tiempo de las mismas, con la finalidad de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento.

3.2. Población y muestra de estudio

Todas las unidades de transporte que cumplen con un recorrido determinado, las cuales laboran para la empresa Costa Gas S.A.C-TRUJILLO, distribuyendo balones de gas.

3.3. Diseño de investigación

No Experimental, no se manipularán las variables

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

Técnica	Instrumento
Observación	Registros de observaciones
Análisis documental	Tablas estadísticas de las ventas, rutas establecidas de cada unidad de transporte.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Técnica	Instrumento
Opinión del experto	Diagrama Causa – Efecto
Software	Grafos v.1.3.5

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de resultados

Tabla 1: Origen- destinos de la empresa a estudiar

Balones de gas

Origen	Destino Ciudad/ Población	Demanda mensual
Planta de Costa GAS	Trujillo	60
Planta de Costa GAS	Covicorti	80
Planta de Costa GAS	Salaverry	120
Planta de Costa GAS	Víctor Larco	160
Planta de Costa GAS	El Porvenir	100
Planta de Costa GAS	Laredo	120
Planta de Costa GAS	Florencia de Mora	100
Planta de Costa GAS	Huanchaco	80
Planta de Costa GAS	Milagro	80
Planta de Costa GAS	La esperanza	200
Planta de Costa GAS	Simbal	60
Planta de Costa GAS	Alto Trujillo	40
Planta de Costa GAS	Poroto	120
Planta de Costa GAS	California	100
Planta de Costa GAS	Campiña Moche	160
Planta de Costa GAS	Trujillo	80
	Total	1660

Fuente: Elaboración propia mediante datos de la empresa

Datos del producto a transportar

En las tablas 2,3 y 4, se muestra la oferta y descripción del producto, la cual servirá como base para determinar la capacidad de los vehículos y así pueda satisfacer a las demandas de los clientes.

Tabla 2: La oferta

Balones de gas	balones de 10 kilos
Cifras	en kilos
unidad de medida	Kilos
Promedio días laborales	23/mes
Turno de trabajo	2

Tabla 3: Descripción del producto

contenido de camiones	
filas/columnas	4*3/4
capacidad del camión	4608 balones

Tabla 4: Demanda de los clientes

	Enero	febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Balones	25000	23000	27000	20000	27000	27000	26000	25000	25000
Productividad diaria	1086.96	1000	1173.9	869.57	1173.9	1173.9	1130.43	1086.96	1086.96

	Enero	febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Balones	24800	22816	26784	19840	26784	26784	25792	24800	24800

La demanda de los 16 destinos se muestra en la tabla 5.

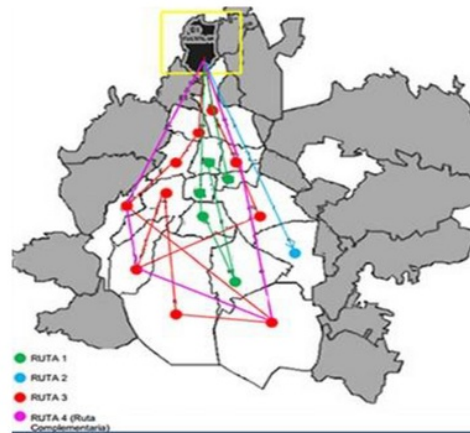
Tabla 5: Demandas promedio de la empresa Costa GAS SAC.

Origen	Destino Ciudad/ Población	Demanda mensual
Planta de Costa GAS	Trujillo	60
Planta de Costa GAS	Covicorti	80
Planta de Costa GAS	Salaverry	120
Planta de Costa GAS	Víctor Larco	160
Planta de Costa GAS	El Porvenir	100
Planta de Costa GAS	Laredo	120
Planta de Costa GAS	Florencia de Mora	100
Planta de Costa GAS	Huanchaco	80
Planta de Costa GAS	Milagro	80
Planta de Costa GAS	La esperanza	200
Planta de Costa GAS	Simbal	60
Planta de Costa GAS	Salaverry	40
Planta de Costa GAS	Poroto	120
Planta de Costa GAS	California	100
Planta de Costa GAS	Campiña de moche	160
Planta de Costa GAS	Moche	80
	Total	1660

Fuente: Elaboración propia

La empresa maneja un estándar de los kilómetros del origen al destino en este caso la planta de costa Gas a los 16 destinos, como se puede ver en la tabla 5

Ilustración 3: Situación actual de ruteo de la empresa en estudio.



Fuente: adaptado de: (Google, 2018)

Tabla 6: Estandarización de distancias, origen- destino.

Origen	Km	Destino Ciudad/ Población
Planta de Costa Gas	10	Trujillo
Planta de Costa Gas	10	Covicorti
Planta de Costa Gas	10	Salaverry
Planta de Costa Gas	10	Víctor Larco
Planta de Costa Gas	10	Porvenir
Planta de Costa Gas	15	Laredo
Planta de Costa Gas	15	Florencia de Mora
Planta de Costa Gas	25	Huanchaco
Planta de Costa Gas	25	Milagro
Planta de Costa Gas	25	La esperanza
Planta de Costa Gas	25	Simbal
Planta de Costa Gas	35	Salaverry
Planta de Costa Gas	35	Poroto
Planta de Costa Gas	35	California
Planta de Costa Gas	35	Campiña de moche
Planta de Costa Gas	35	Moche

Fuente: Elaboración propia.

Con el supuesto anterior y con base en sus cálculos y conocimientos empíricos, la empresa puede generar un ruteo como el que a continuación se muestra en la Ilustración 3

Tabla 7: Promedio de distancias y tiempos de Costa Gas a los 16 destinos.

Destino	Km	Avarage	T	Avarage
Trujillo	26.5		35	
	44	35.43333	36	36.33333
	35.8		38	
	22.9		34	
covicorti	23.7	25.2	32	33.66667
	29		35	
	28.6		28	
Salaverry		28.6		28
	34.9		41	
Víctor Larco	37.2	40.8	43	43.33333
	50.3		46	
	34.8		44	
Porvenir	49.7	46.6	48	47
	55.3		49	
	44.3		47	
Laredo	56	51.56667	55	51.66667
	54.4		53	
	37.6		40	
Florenia de Mora		37.6		40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Promedio de distancias y tiempos de la empresa Costa Gas

Huanchaco	40.7		43	
	57.8	46.93333	51	47.66667
	42.3		49	
Milagro	49		38	
	43.7	46.35	46	42
La esperanza	59.3		56	
	60.1	56.86667	57	57
	51.2		58	
Simbal	43.1		45	
		43.1		45
Salaverry	45.7		44	
	57.9	51.8	65	54.5
Poroto	49.8		49	
		49.8		49
California	59.5		56	
	72.1	67.03333	75	70
	69.5		79	
Campaña de moche	66		63	
	64.9	62.53333	66	66
	56.7		69	
moche	73.2		82	
	102	87	95	92.33333
	85.8		100	

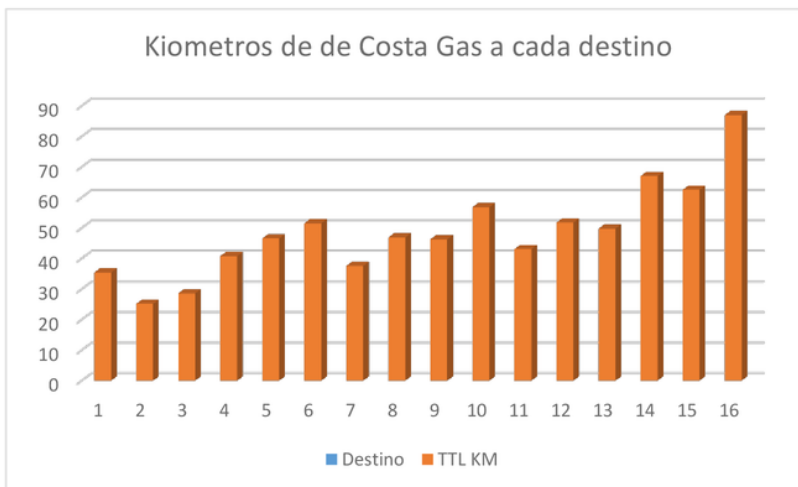
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9: muestra un resumen del promedio de las distancias, entre el origen (La empresa Costa GAS) y los 16 destinos

Destino	KM	t(min))
Trujillo	35.433	36.333
Covicorti	87	92.3333
Moche	25.2	33.667
Salaverry	28.6	28
Víctor Larco	40.8	43.333
Porvenir	46.6	47
Laredo	51.567	51.667
Florencia de Mora	37.6	40
Huanchaco	46.933	47.667
Milagro	46.35	42
La esperanza	56.867	57
Simbal	43.1	45
Salaverry	51.8	54.5
Poroto	49.8	49
California	67.033	70
Campaña de moche	62.533	66
Moche		
TOTAL	777.217	

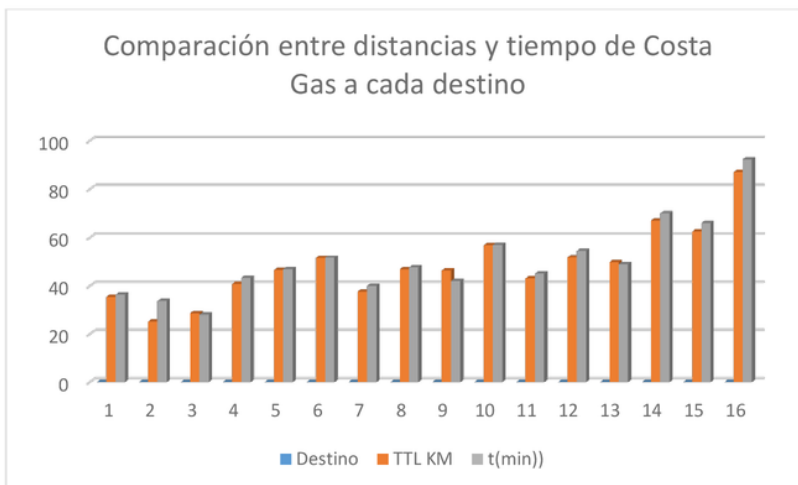
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4: Kilómetros de Costa Gas a cada Destino.



Fuente: elaboración propia

Ilustración 5: Comparación entre distancia y tiempo de Costa GAS a cada destino.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 10: Distancias y tiempos de Costa Gas a los demás destinos.

Destino	KM	AVARAGE	T	AVARAGE
Trujillo	11.8		16	
	11.3	11.46667	18	18
	11.3		20	
Covicorti	14.8		24	
	15.8	15.7667	24	24
	16.7		24	
Salaverri	7.9		15	
	9.9	8.9	15	15
Víctor Larco	11		17	
	14.8	12.03333	18	18
	10.3		19	
Porvenir	15.9		23	
	19.8	16.96667	24	24
Laredo	15		24	
	14.3	15.26667	26	25.3333333
	16.5		26	
Florencia de Mora	22.3		30	
	23	22.4	32	33
	21.9		37	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Distancias y tiempos de Costa Gas a los demás destinos.

Huanchaco	26.1		37	
	32.9	34.3	49	44.666667
	43.9		48	
Milagro	25		40	
	25.8	25.56667	39	39.666667
	25.9		40	
La esperanza	19.8		33	
	22	20.5	33	33
	19.7		33	
Simbal	28.1		33	
	30.8	29.2	39	37.3333333
	28.7		40	
Poroto	32.2		39	
	33.5	33.53333	43	42
	34.9		44	
Campaña de moche	41.9		46	
	30.6	35.1	49	48.6666667
	32.8		51	
Moche	31.5		48	
	29.8	32.5333333	50	49.6666667
	36.3		51	

Fuente: elaboración propia

0		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0		35.4	25.2	28.6	40.8	46.6	51.6	37.6	46.93	46.35	56.87	43.1	51.8	49.8	67.03	62.53	87
1	35.43		11.5	15.8	8.9	12	17	15.27	22.4	34.3	25.57	20.5	29.2	33.53	35.1	32.53	48.8
2	25.2	11.5		9.67	9.67	16.1	22	14.13	18.97	21.77	30.3	20.5	24.6	29.43	36.97	39.03	49.07
3	28.6	15.8	9.67		9.23	18.6	18.8	10.33	11.83	14.53	25.73	14.6	18.07	21.65	28.7	32.9	43.5
4	40.8	8.9	9.67	9.23		9.33	11.8	7.23	14	18.83	21.1	12.7	20.7	23.87	27.5	26.43	42.83
5	46.6	12	16.1	18.6	9.33		5.9	11.9	22.3	27.83	15.13	15.7	28.33	33.3	24.47	20.23	38.83
6	51.57	17	22	18.8	11.83	5.9		10.87	18.1	27.93	10.85	12.9	23.23	26.87	20.6	16.9	36.07
7	37.6	15.3	14.1	10.3	7.23	11.9	10.9		10.33	20.6	15.07	4.97	14.53	16.53	16.83	21.27	33.1
8	46.93	22.4	19	11.8	14	22.3	18.1	10.33		14.77	27.75	10.5	12.8	17.23	25.93	29.83	38.37
9	46.35	34.3	21.8	14.5	18.83	27.8	27.9	20.6	14.77		34.7	25	20.05	20	34.1	37.67	47
10	56.87	25.6	30.3	25.7	21.1	15.1	10.9	15.07	27.75	34.7		14.2	27.47	26.1	17.7	8.07	26.87
11	43.1	20.5	20.5	14.6	12.67	15.7	12.9	4.97	10.47	24.97	14.2		14.17	13.9	13.73	18.4	31.9
12	51.8	29.2	24.6	18.1	20.7	28.3	23.2	14.53	12.8	20.05	27.47	14.2		11.23	22.03	27.8	38.4
13	49.8	33.5	29.4	21.7	23.87	33.3	26.9	16.53	17.23	20	26.1	13.9	11.23		16.9	27.2	31.8
14	67.03	35	37	28.7	27.5	24.5	20.6	16.83	25.93	34.1	17.7	13.7	22.03	16.9		17.5	16.33
15	62.53	32.5	39	32.9	26.43	20.2	16.9	21.27	29.93	37.1	8.07	18.4	27.8	27.2	17.5		23.33

Fuente: distancia obtenida mediante Google Maps(google, 2018)

Consumo de combustible para determinación de costo de viaje.

Tabla 12: Consumo de combustible por tipo de vehículo

Vehículo	Carga	Potencia	Circulación	Consumo
carro 1	28 TON	380 CV	NORMAL	32 lt/ 100 Km
carro 2	14 TON	300 CV	NORMAL	23 lt/ 100 Km
carro 3	8 TON	230 CV	NORMAL	21 lt/ 100 Km
carro 4	3.5 TON	180 CV	NORMAL	14 lt/ 100 Km

costo de combustible 0.21 lt/Km* 13.72 \$/lt =2.8812 \$/km

Paso 2 (Aplicación del algoritmo de ahorros): De la matriz de distancias se leen directamente las primeras 16 rutas, todas saliendo de Costa Gas y visitando un solo destino , la Tabla 13 muestra una primera solución del total de rutas que se requieren:

Tabla 13: Solución inicial

RUTA	NODOS	KM
1	0-1-0	70.86
2	0-2-0	50.4
3	0-3-0	57.2
4	0-4-0	81.6
5	0-5-0	93.2
6	0-6-0	103.14
7	0-7-0	75.2
8	0-8-0	93.86
9	0-9-0	92.7
10	0-10-0	113.74
11	0-11-0	86.2
12	0-12-0	103.6
13	0-13-0	99.6
14	0-14-0	134.06
15	0-15-0	125.06
16	0-16-0	174
	TOTAL	1554.42

Fuente: elaboración propia

Esta primera solución tiene un recorrido de 1554.42 kilómetro y requiere de 16 vehículos.

Tabla 14: Costos de ruteo para los 16 nodos del problema planteado.

RUTA	NODOS	KM	COSTO	COSTO DE FLETE	FLETE CONSOLIDADO
1	0-1-0	70.86	204.162	1877.09	1116.76
2	0-2-0	50.4	145.212	1897.09	1489.01
3	0-3-0	57.2	164.805	1937.09	2233.52
4	0-4-0	81.6	235.106	1977.09	2978.02
5	0-5-0	93.2	268.528	1917.09	1861.27
6	0-6-0	103.14	297.167	1937.09	2233.52
7	0-7-0	75.2	216.666	1917.09	1861.27
8	0-8-0	93.86	270.429	1897.09	1489.01
9	0-9-0	92.7	267.087	1897.09	1489.01
10	0-10-0	113.74	327.708	2017.09	3722.53
11	0-11-0	86.2	248.359	1877.09	1116.76
12	0-12-0	103.6	298.492	1857.09	744.51
13	0-13-0	99.6	286.968	1937.09	2233.52
14	0-14-0	134.06	386.254	1917.09	1861.27
15	0-15-0	125.06	360.323	1977.09	2978.02
16	0-16-0	174	501.329	1897.09	1489.01
		1554.42	4478.595		

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15: Matriz simétrica de costo

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	102.08	72.606	82.402	117.55	134.26	148.58	108.33	135.54	133.54	163.85	124.18	149.25	143.48	193.13	180.16	250.66
1	102.08	33.047	45.437	25.643	34.661	48.894	43.996	64.539	98.825	73.672	59.065	84.131	96.607	101.13	93.725	140.6
2	72.606	33.047	27.861	27.861	46.474	63.473	40.711	54.656	62.724	87.3	59.065	70.878	84.794	106.52	112.45	141.38
3	82.402	45.437	27.861	26.593	53.504	54.167	29.763	34.085	41.864	74.133	42.066	52.063	62.378	82.69	94.791	125.33
4	117.55	25.643	27.861	26.593	26.882	34.085	20.831	40.337	54.253	60.793	36.505	59.641	68.774	79.233	76.15	123.4
5	134.26	34.661	46.474	53.504	26.882	16.999	34.286	64.251	80.184	43.593	45.321	81.624	95.944	70.503	58.287	111.88
6	148.58	48.894	63.473	54.167	34.085	16.999	31.319	52.15	80.472	31.261	37.081	66.93	77.418	59.353	48.692	103.92
7	108.33	43.996	40.711	29.763	20.831	34.286	31.319	29.763	59.353	43.42	14.32	41.864	47.626	48.491	61.283	95.368
8	135.21	64.539	54.656	34.085	40.337	64.251	29.763	29.763	42.555	79.953	30.166	36.879	49.643	74.71	52.946	110.55
9	133.54	98.855	62.724	41.864	54.253	80.184	80.472	59.353	42.555	99.978	71.944	57.768	57.624	98.249	108.53	135.42
10	163.85	73.672	87.3	74.133	60.793	43.593	31.261	43.42	79.953	99.978	40.913	79.147	75.199	50.997	23.251	77.418
11	124.18	59.065	59.065	42.066	36.505	45.321	37.081	14.32	30.166	40.913	40.913	40.827	40.049	39.559	53.014	91.91
12	149.25	84.131	70.878	52.063	59.641	81.624	66.93	41.864	36.879	57.768	79.147	40.827	32.356	63.473	80.097	110.64
13	143.48	96.607	84.794	62.378	68.774	95.944	77.418	47.626	49.643	57.624	75.199	40.049	32.356	48.692	78.369	91.622
14	193.13	101.13	106.52	82.69	79.233	70.503	59.353	48.491	74.71	98.249	50.997	39.559	63.473	48.692	50.421	47.05
15	180.16	93.725	112.45	94.791	76.15	58.287	48.692	61.283	85.946	108.53	23.251	53.014	80.097	78.369	50.421	67.218
16	250.66	140.6	141.38	125.33	123.4	111.88	103.92	95.368	110.55	135.42	77.418	110.64	91.622	47.05	67.218	

Fuente: elaboración propia

Paso 2. Determinar los ahorros para cada nodo de la matriz anterior

Matriz simétrica de costos.

Para determinar la matriz de costos se utiliza el escalar costo de combustible, que tiene el valor de 2.8812 (\$/km), este valor se multiplica para cada uno de los destinos de la matriz simétrica de distancias, resultando la siguiente matriz que se muestra en la Tabla 11.

	141.64	127	173.4	224.9	265.8	225.59	213.78	226.2	197.41	232.6	260.37	287.92	322.87	363.6
	139.05	162	163.2	232.1	208.3	231.65	182.52	219.11	233.95	227.61	278.91	198.4	396.74	
	193.99	160	176.8	205.1	205.2	201.65	228.76	229.22	232.13	277.75	249.31	302.52		
	201.68	158	161	212.4	187.6	281.17	218.19	247.58	305.98	251.33	289.27			
	201.77	140	183.5	193.8	254.5	235.17	215.72	229.05	320.76	282.93				
	166.8	153	174.1	220.6	213.1	230.9	204.18	253.63	337.09					
	172.76	143	172.1	205.2	201.9	214.64	252.97	229.42						
	136.8	149	164.5	207.2	181.8	282.36	227.21	275.32						
	192.26	138	179.6	192.3	256.9	280.05	263.62							
	167.2	151	163.5	231.5	273	295.32								
	167.2	131	192.8	221.6										
	148.95	159	167.8	244.8										
	194.08	140	207.7											
	188.52	182												
	212.14													

AHORROS

Paso 3. Ordenar los ahorros de mayor a menor.

#	Arco	Ahorro	Arco	Ahorro
1	12	142	1416	396.7
2	13	139	1516	363.6
3	14	194	1016	337.1
4	15	202	1415	322.9
5	16	202	1015	320.8
6	17	166	1014	306
7	18	173	1316	302.5
8	19	137	616	295.3
9	110	192	1216	289.3
10	111	167	1314	287.9
11	112	167	1116	282.9
12	113	149	614	282.4
13	114	194	610	281.2
14	115	189	615	280.1
15	116	212	1214	278.9
16	23	127	1114	277.8
17	24	162	816	275.3
18	25	160	516	273
19	26	158	56	265.8
20	27	140	716	263.6
21	28	153	1213	260.4
22	29	143	514	256.9
23	210	149	515	256.1
24	211	138	510	254.5
25	212	151	814	253.6

26	213	131
27	214	159
28	215	140
29	216	182
30	34	173
31	35	163
32	36	177
33	37	161
34	38	184
35	39	174
36	310	172
37	311	165
38	312	180
39	313	164
40	314	193
41	315	168
42	316	208
43	45	225
44	46	232
45	47	205
46	48	212
47	49	197
48	410	221
49	411	205
50	412	207
51	413	192
52	414	231
53	415	222
54	416	245

714	253
1115	251.3
1215	249.3
916	248.8
812	248.6
1011	247.1
416	244.8
611	235.7
1012	234
1112	233.6
1013	232.1
46	232.1
68	231.7
414	231.5
612	230.9
815	229.4
811	229.2
813	229.1
710	228.8
914	228.4
1113	227.6
715	227.2
89	226.2
67	225.6
912	225.1
45	224.9
415	221.6
410	220.6
913	219.4

55	56	266
56	57	208
57	58	205
58	59	188
59	510	255
60	511	213
61	512	202
62	513	182
63	514	257
64	515	256
65	516	273
66	67	226
67	68	232
68	69	202
69	610	281
70	611	236
71	612	231
72	613	215
73	614	282
74	615	280
75	616	295
76	78	214
77	79	183
78	710	229
79	711	218
80	712	216
81	713	204
82	714	253
83	715	227

810	219.1
711	218.2
712	215.7
613	214.6
78	213.8
511	213.1
48	212.4
116	212.1
57	208.3
316	207.7
412	207.2
411	205.2
58	205.2
915	205.2
47	208.1
713	204.2
512	201.9
16	201.8
15	201.7
69	201.7
1315	198.4
910	197.4
49	196.8
114	194.1
14	194
314	192.8
110	192.3
413	192.3
115	188.5

84	716	264
85	89	226
86	810	219
87	811	229
88	812	248
89	813	229
90	814	254
91	815	229
92	816	275
93	910	197
94	911	186
95	912	225
96	913	219
97	914	228
98	915	205
99	916	249
100	1011	247
101	1012	234
102	1013	232
103	1014	306
104	1015	321
105	1016	337
106	1112	233
107	1113	228
108	1114	278
109	1115	251
110	1116	283
111	1213	260
112	1214	279

59	187.5
911	185.8
38	183.5
79	182.5
216	181.9
513	181.8
312	179.6
36	176.8
39	174.1
34	173.4
18	172.8
310	172.1
315	167.8
111	167.2
112	167.2
17	166.4
311	164.5
313	163.5
35	163.2
24	162.3
37	161
25	160.4
214	159.2
26	157.7
28	153.2
212	151
210	149.2
113	149
29	143.4

113	1215	249	12	141.6
114	1216	289	215	140.3
115	1314	288	27	140.2
116	1315	198	13	139.1
117	1316	303	211	137.7
118	1415	323	19	136.8
119	1416	397	213	131.3
120	1516	364	23	127.2

Rutas generadas por el algoritmo Clarke y Wright

El primer arco que se analiza es el 14-16, que genera la ruta: 0-14-16-0 con un costo acumulado de: $193.13 + 47.05 + 250.66 = \$ 490.84$, y con una demanda a cubrir de: $100 + 80 = 180$ balones. Esta ruta es factible, pues respeta las restricciones del problema y mejora la solución anterior, reduciendo el costo total a $\$ 4081.98$ y el número de vehículos a 15. La siguiente tabla muestra la nueva solución.

Tabla 16. Segunda solución utilizando el mayor ahorro.

RUTA	NODOS	COSTO
1	0-1-0	S/ 204.17
2	0-2-0	145.218
3	0-3-0	164.81
4	0-4-0	235.114
5	0-5-0	268.537
6	0-6-0	297.177
7	0-7-0	216.674
8	0-8-0	270.439
9	0-9-0	267.097
10	0-10-0	327.719
11	0-11-0	248.368
12	0-12-0	298.503
13	0-13-0	286.977
	0-14-	
14	16-0	490.84
15	0-15-0	360.335
	TOTAL	S/ 4,081.98

Fuente: elaboración propia

El siguiente arco a analizar es el 15-16 que al combinarse con la ruta 0-14-16-0 previamente analizada genera la ruta 0-14-16-15-0, con un costo acumulado de: $193.13 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = \$ 487.558$, y con la demanda de $100 + 80 + 160 = 340$ balones, con lo cual se verifica que esta unión entre los arcos es factible, por lo tanto se acepta la unión. Posteriormente se analiza el arco 10-16, que al combinarse con la ruta 0-14-16-15-0, genera la ruta 0-10-14-16-15-0, con un costo acumulado de:

$163.85 + 50.997 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = \$ 509.275$, y con una demanda a satisfacer de $200 + 100 + 80 + 160 = 540$ balones. En donde $540 > 384$, por lo tanto, se rechaza la unión debido a que no respeta la capacidad del vehículo. Continuamos con el arco 14-15, dicho arco ya está incluido en la ruta anterior. Después se analiza el arco 10-15 en donde resulta que el nodo 10 ya se analizó previamente y resulta que si se incluye supera la capacidad del vehículo que es de 384 balones, mientras que el nodo 15 ya está incluido. Por lo tanto se rechaza la unión. Enseguida se analiza el arco 10-14, el cual ya fue analizado y resultado rechazado. Continuamos con el arco 13-16, que al combinarse con la ruta 0-14-16-15-0, genera la ruta 0-13-14-16-15-0, con un costo acumulado de $143.48 + 48.692 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = \$ 486.6$, y una demanda a cubrir de $120 + 100 + 80 + 160 = 460 > 384$, con lo cual nos indica que la capacidad está siendo rebasada, por lo tanto se rechaza la unión de los arcos. En el arco 6-16 se combina con la ruta 0-14-16-15-0 y genera la ruta 0-6-14-16-15-0, de donde en primera instancia se calcula la demanda a cubrir y resulta $120 + 100 + 80 + 160 = 460$ balones, por lo que $460 > 384$ entonces se rechaza la unión de los arcos. A continuación se tiene el arco 12-16, que al combinarse con la ruta 0-14-16-15-0, genera la ruta 0-12-14-16-15-0, generando un costo de: $149.25 + 63.473 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = \$ 507.151$ y una demanda acumulada de: $40 + 100 + 80 + 160 = 380 < 384$, por lo tanto se acepta la unión. En la tabla 16 se observa el resumen de las uniones de los arcos.

Tabla 17: Resumen de las uniones de los arcos mediante el algoritmo Clarke and Wright.

ARCO	RUTA GENERADA	COSTO ACUM [\$]	CAPACIDAD ACUM [cajas]	ACEP/RECH
14-16	0-14-16-0	193.13 + 47.05 + 250.66 = 490.84	100+80 = 180	ACEPTAR
15-16	0-14-16-15-0	193.13 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = 487.558	100+80+160 = 340	ACEPTAR
10-16	0-10-14-16-15-0	163.85 + 50.997 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = 509.275	200 + 100 + 80 + 160 = 540	RECHAZAR
14-15	Arco Incluido			
10-15	0-14-16-15-10-0		100 + 80 + 160 + 200 = 540	RECHAZAR
10-14	0-10-14-16-15-0	163.85 + 50.997 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = 509.275	200 + 100 + 80 + 160 = 540	RECHAZAR
13-16	0-13-14-16-15-0		120 + 100 + 80 + 160 = 460	RECHAZAR
6-16	0-6-14-16-15-0		120 + 100 + 80 + 160 = 460	RECHAZAR
12-16	0-12-14-16-15-0	149.25 + 63.473 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = 507.151	40 + 100 + 80 + 160 = 380	ACEPTAR
13-14	0-13-14-16-15-0			RECHAZAR
11-16	0-11-12-14-16-15-0			RECHAZAR
6-14	0-6-12-14-16-15-0			RECHAZAR
6-10	0-6-10-0	148.58 + 31.261 + 163.85 = 343.691	120 + 200 = 320	ACEPTAR
6-15	Arco Incluido			RECHAZAR
12-14	Arco Incluido			RECHAZAR
11-14			Sobrepasa capacidad	RECHAZAR
8-16			Sobrepasa capacidad	RECHAZAR
5-16				RECHAZAR
5-6	0-5-6-10-0	134.26 + 16.999 + 31.261 + 163.85 = 346.37	100 + 120 + 200 = 420	RECHAZAR
7-16				RECHAZAR
12-13				RECHAZAR
5-14				RECHAZAR
5-15				RECHAZAR
5-10				RECHAZAR
8-14				RECHAZAR
7-14				RECHAZAR
11-15				RECHAZAR
12-15	Arco Incluido			RECHAZAR
9-16				RECHAZAR
8-12				RECHAZAR
10-11	0-6-10-11-0	148.58 + 31.261 + 40.913 + 124.18 = 344.934	120 + 200 + 60 = 380	ACEPTAR
4-16				RECHAZAR
6-11	Arco Incluido			RECHAZAR

10-12	Arco Incluido			RECHAZAR
11-12	Arco Incluido			RECHAZAR
10-13			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
4-6			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
6-8			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
4-14			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
6-12	Arco Incluido			RECHAZAR
8-15			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
8-11			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
8-13	0-8-13-0	135.215 + 49.643 + 143.48 = 328.338	80 + 120 = 200	ACEPTAR
7-10			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
9-14			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
11-13			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
7-15			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
8-9	0-9-8-13-0	133.54 + 42.5553 + 49.643 + 143.48 = 369.218	80 + 80 + 120 = 280	ACEPTAR
6-7				RECHAZAR
9-12	Arco Incluido			RECHAZAR
4-5	0-4-5-0	117.55 + 26.882 + 134.26 = 278.692	160 + 100 = 260	ACEPTAR
4-15	Arco Incluido			RECHAZAR
4-10	Arco Incluido			RECHAZAR
9-13	Arco Incluido			RECHAZAR
8-10	Arco Incluido			RECHAZAR
7-11			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
7-12			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
6-13	Arco Incluido			RECHAZAR
7-8	0-9-8-13-7-0	133.54 + 42.553 + 49.643 + 47.626 + 108.33 = 381.692	80 + 80 + 120 + 100 = 380	ACEPTAR
5-11	Arco Incluido			RECHAZAR
4-8	Arco Incluido			RECHAZAR
1-16			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
5-7	Arco Incluido			RECHAZAR
3-16			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
4-12			Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
4-11	Arco Incluido			RECHAZAR
5-8	Arco Incluido			RECHAZAR
9-15	Arco Incluido			RECHAZAR

3-7		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
2-5		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
2-14		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
2-6		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
2-8		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
2-12		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
2-10		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
1-13	Arco Incluido		RECHAZAR
2-9		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
1-2	0-4-5-1-2-0	$117.55 + 26.882 + 34.6608 + 33.047 + 72.606 = 284.746$	RECHAZAR
2-15		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
2-7		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
1-3		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
2-11		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
1-9		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
2-13		Sobrepasa Capacidad	RECHAZAR
2-3	0-2-3-0	$72.606 + 27.861 + 82.402 = 182.869$	RECHAZAR
		80 + 120 = 200	ACEPTAR

Continuación Tabla 16. Resumen de las uniones de los arcos mediante el algoritmo Clarke y Wright.

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 17. Están contenidas las rutas que se generaron al utilizar el algoritmo de ahorros, como se puede observar, de las 16 rutas que se tenían en la primera solución, con este algoritmo se generaron 5 rutas las cuales cumplen con las restricciones de capacidad y costo de transporte por kilómetro.

Tabla 18: Rutas generadas por el algoritmo Clarke y Wright.

Fuente: elaboración propia

Ruta	Nodos	costo Total
1	0-12-14-16-15-0	507.151
2	0-6-10-11-0	344.934
3	0-9-8-13-7-0	381.629
4	0-4-5-1-0	281.171
5	0-2-3-0	182.869
	Total	1697.76

En la tabla 18 están las mismas rutas, pero se muestran de acuerdo al nombre correspondiente a cada delegación, este nuevo ruteo tiene un costo de \$1697.82, dicho valor es más aceptable por mucho en comparación con la primera solución.

Tabla 19: Rutas generadas por el algoritmo Clarke y Wright.

Fuente: elaboración propia

Nodos	costo total
planta-Salaverry-california-campiña de moche- moche- planta	507.151
planta-Laredo-La esperanza-Simbal-planta	344.934
planta-milagro-Huanchaco-Salaverry-Florencia de mora	381.692
planta-Víctor Larco-Porvenir-Trujillo-planta	281.173
planta-covicorti-Salaverry- planta	182.869
Total	1697.819

Nueva red de distribución

La solución final del método de Clarke y Wright consiste en 5 rutas que acumulan un costo total de recorrido de \$ 1697.82, la cual mejora a la segunda solución que mantenía un costo total de recorrido de \$ 4081.98. Además, el número de vehículos disminuye a 5 y respetando en todas las rutas las restricciones de no tener un costo de recorrido de \$ 1296.54

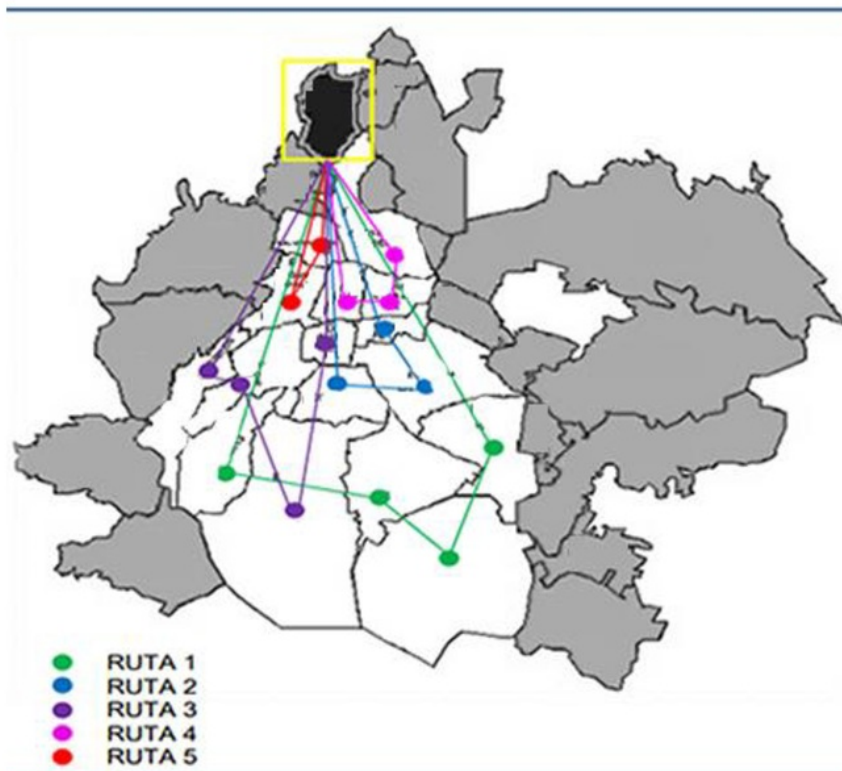


Ilustración 6: Gráfica de la nueva red de distribución.

Fuente: elaboración propia mediante (Google,2018).

Análisis mediante Grafos - v.1.3.5

En este punto se muestra la aplicación de la herramienta informática Grafos, para resolver el problema planteado anteriormente.

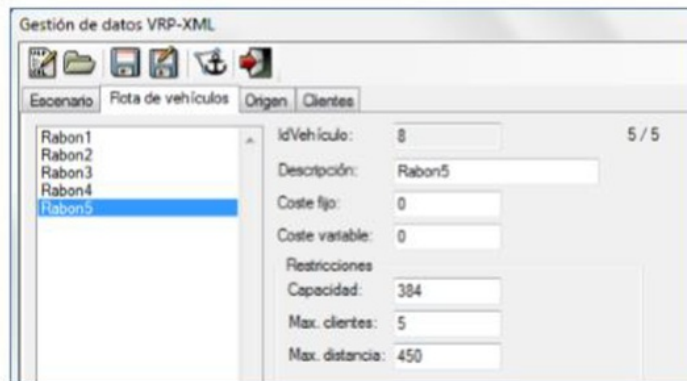


Figura 1 Flota de vehículos.

Fuente: elaboración mediante Grafos - v.1.3.5

Posterior al paso anterior se define el origen en la figura 8, y en la pestaña de clientes figura 9, se establece la cantidad de clientes con sus demandas asociadas y el número de nodo lo asigna el software de acuerdo al orden en que introducen

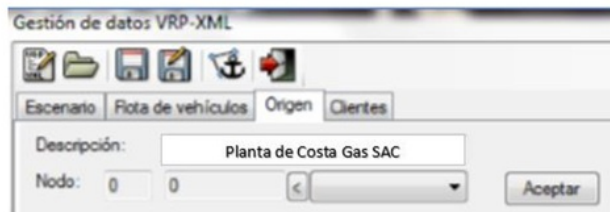


Figura 2. Origen (Depot).

Fuente: elaboración mediante Grafos - v.1.3.5

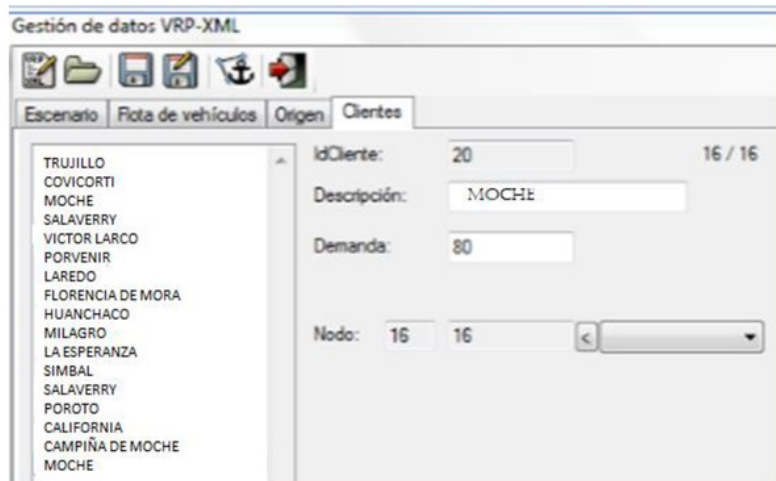


Figura 3. Clientes.

Fuente: elaboración mediante Grafos - v.1.3.5

En la figura 4 queda el resumen con los datos de entrada del problema a resolver.

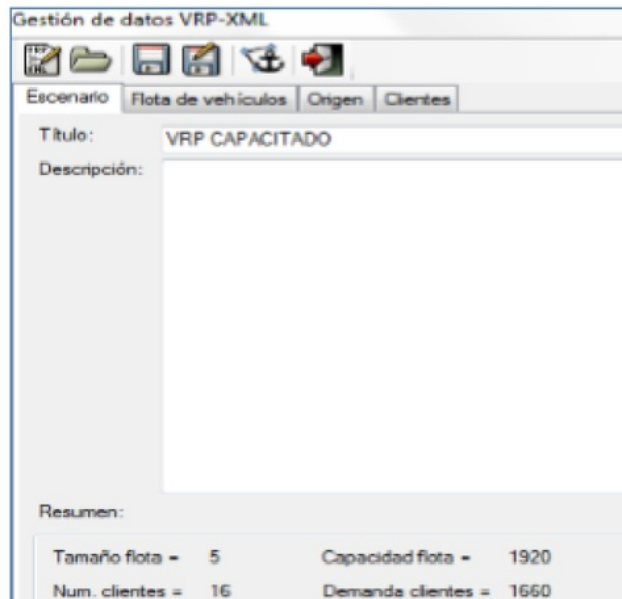


Figura 4. Datos de entrada. Fuente: elaboración mediante Grafos - v.1.3.5

Durante el proceso para el cálculo del ruteo, Grafos analiza cada nodo y como se observa en la figura 5, las iteraciones que se manejan en los 20851 segundos son 6 045 418.

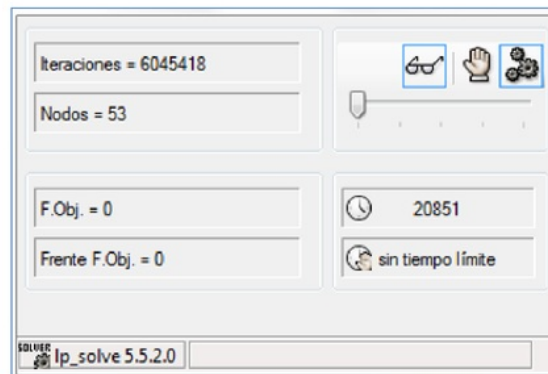


Figura 5. Cálculo mínimo de la función objetivo. Fuente: elaboración mediante Grafos - v.1.3.5

Interpretando los resultados y representándolos gráficamente, las rutas quedan como se muestra en la figura siguiente

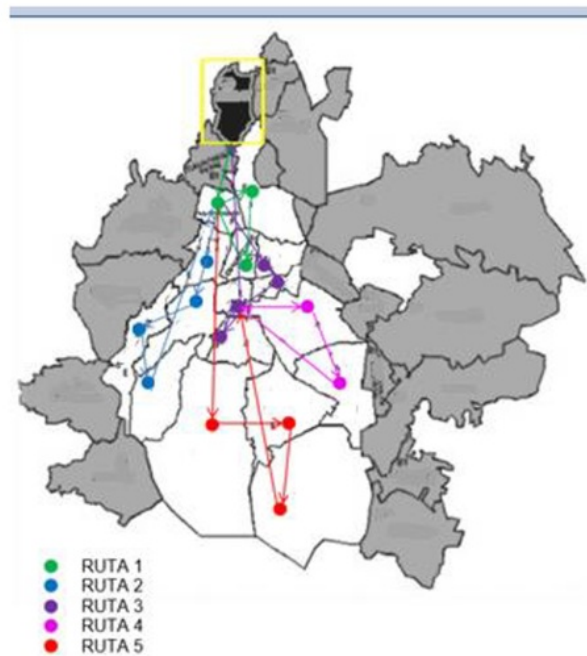


Figura 6. Gráfica del análisis con Grafos. Fuente: elaboración propia mediante (Google 2018).

El resultado que proporciona el análisis en Grafos - v.1.3.5, es el siguiente:

COSTO TOTAL MÍNIMO (COSTE O TIEMPO) - PROBLEMA DE RUTAS CON VEHÍCULOS CAPACITADOS (CVRP)

 Tiempo de proceso = 20896 segundos = 5.8 horas

RUTA 1 :: IdVehículo 1: Rabon1

Costo = 159.1571 (0) > 0, 2 (25.6427) > 1, 4 (33.0474) > 2, 1
 (100.467) > 4, 2, 0

Servicio/Capacidad = Aprovechamiento (%): 300/384 = 78.125 %
(Demanda) Cliente > Ubicación: (60) G.A > 1 (80) AZCAP > 2 (160)
CUAHUT > 4

RUTA 2 :: IdVehículo 5: Rabon2

Costo = 296.7343 (27.861) > 0, 2, 3 (34.085) > 3, 8 (42.5553) > 8, 9
(57.768) > 9, 12 (134.465) > 12, 3, 0

Servicio/Capacidad = Aprovechamiento (%): 320/384 = 83.33334 %
(Demanda) Cliente > Ubicación: (120) M.H > 3 (80) A.O > 8 (80) CUAJIM
> 9 (40) L.M.C > 12

RUTA 3 :: IdVehículo 6: Rabon3

Costo = 231.762 (46.474) > 0, 2, 5 (16.999) > 5, 6 (31.319) > 6, 7
(14.32) > 7, 11 (122.65) > 11, 7, 0

Servicio/Capacidad = Aprovechamiento (%): 380/384 = 98.95834 %
(Demanda) Cliente > Ubicación: (100) V.C > 5 (120) IZTACAL > 6 (100)
B.J > 7 (60) COYOA > 11

RUTA 4 :: IdVehículo 7: Rabon4

Costo = 276.995 (84.131) > 0, 2, 7, 10 (23.251) > 10, 15 (169.613)
> 15, 7, 0

Servicio/Capacidad = Aprovechamiento (%): 360/384 = 93.75 %
(Demanda) Cliente > Ubicación: (200) IZTAP > 10 (160) TLAH > 15

RUTA 5 :: IdVehículo 8: Rabon5

Costo = 384.234 (84.794) > 0, 2, 13 (48.692) > 13, 14 (47.05) > 14,
16 (203.698) > 16, 7, 0

Servicio/Capacidad = Aprovechamiento (%): $300/384 = 78.125 \%$
(Demanda) Cliente > Ubicación: (120) TLALP > 13 (100) XOCH > 14 (80)
M.A > 16

Costo total = 1348.882

En el ruteo que genera la empresa se tiene un costo total de recorrido de \$ 2047.90, que comparada con la ruta propuesta de \$1697.82 representa un ahorro del 17.09% mensual del costo, lo cual resulta beneficioso para la empresa ya que el sistema de reparto es un fenómeno continuo, el cual debe estar perfectamente definido para lograr la optimalidad del ruteo. Y mediante el análisis del resultado con Grafos - v.1.3.5, se tienen 5 rutas, dicho análisis genera un costo total de recorrido de \$ 1348.882, este costo total mejora la solución del algoritmo de Clarke y Wright. Para ejemplificar y comparar los resultados se muestra la siguiente tabla:

	COSTO MENSUAL TOTAL DE RECORRIDO [\$]	N. DE RUTAS
RUTEO EMPÍRICO	2047.90	4
RUTEO MEDIANTE CLARKE Y WRIGHT	1697.82	5
RUTEO MEDIANTE GRAFOS - V. 1. 3. 5	1348.882	5

Se determina que el mejor resultado es el obtenido mediante la herramienta Grafos, y haciendo un análisis para determinar si los algoritmos que usa son exactos, se hace el siguiente procedimiento para medir el resultado obtenido con el método heurístico: Tomando en cuenta que el valor arrojado por grafos representa el óptimo, se hace la comparación con el valor que se obtuvo con el análisis del algoritmo de Clarke y Wright, tendríamos que obtener un porcentaje de desviación que oscile entre 8 y 10% para establecer la calidad

del algoritmo heurístico. Para obtener el porcentaje de desviación con respecto al óptimo, se establece la siguiente ecuación:

$$era = \left| \frac{x_n - x_{n-1}}{x_{n-1}} \right| * 100 \dots (4.1)$$

Dónde:

era = porcentaje de desviación

x_n = valor heurístico

x_{n-1} = valor óptimo

$$era = \left| \frac{1697.82 - 1348.882}{1348.882} \right| * 100$$

$$era = 25\%$$

El resultado anterior indica que el porcentaje de desviación absoluto está por encima del 10% que es el porcentaje de desviación teórico del algoritmo de Clarke y Wright con respecto al óptimo, lo cual indica que Grafos v. 1. 3. 5 está proporcionando un valor mucho mejor y podemos asegurar que es un resultado óptimo en un tiempo de computo razonable (Rodríguez., 2013).

Por otro lado podemos tener la certeza que Grafos está proporcionando un valor confiable ya que cuenta con la ayuda de Ip_solve; un solver de programación lineal entera mixta de licencia libre (LGPL-GNU lesser general public license), el cual resuelve modelos de programación lineal, con variables enteras binarias (Correa, 2011).

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Según nuestro resultado encontramos una notable reducción de los costos los cuales podría desempeñar un rol importante y significativo dentro de la empresa, no solo por la reducción de distancia, sino por la practicidad con la cual se puede aplicar este algoritmo dentro del proceso de distribución de los productos, teniendo este resultado óptimo en el diseño de las rutas consideramos como una buena opción el algoritmo Clerk and wright comparando con la tesis "Plan de mejora del almacén y planificación de las rutas de transporte de una distribuidora de productos de consumo masivo " que sustenta en su tesis "reducción del tiempo en la entrega de los productos haciendo un estudio de ruteo de todos los puntos de reparto cual obtuvo la reducción de los costos ." donde detalla la aplicación de más de una heurística para el diseño de reducir el tiempo en la entrega de los productos haciendo un estudio de ruteo de todos los puntos de reparto lo cual se refleja en nuestra tesis ya que usamos el mismo algoritmo Clarke & Wright o método de ahorro lo cual nos permitió reducir significativamente las distancias total recorrida por ambas rutas. una red de distribución.

La tesis Propuesta para reducir el costo logístico del transporte primario desde la cervecería del valle a los diferentes centros de distribución mediante un modelo matemático tiene una visualización amplia sobre cómo implementar un modelo matemático para obtener como efecto la reducción de costos del área de logística, en nuestros resultados obtenidos en nuestra tesis se puede evidenciar que con el método de ahorro y de barrido se puede también obtener la reducción de los costos, a través de un ruteo.

Por ello el estudio y conocimiento del algoritmo de Clerk and write será una base para el desarrollo de las rutas optimas del centro de distribución de Costa Gas S.A.C, encontrando grandes beneficios para la misma, pudiendo ser tomado en cuenta para un futuro estudio de mejora.

La tesis "ESTUDIO COMPARATIVO DE LA APLICACIÓN DE HEURÍSTICAS AL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS" tuvo por objetivo comparar diferentes algoritmos para obtener el mejor ruteo, lo cual nosotros realizamos la comparación entre el método de barrido con Clerk an wrike o conocido como método de ahorro, para esta comparación tuvimos que utilizar el software Solver V1.3 en donde tuvimos resultados beneficiosos ya que reducimos los costos de la empresa Costa Gas SAC

CONCLUSIONES

- Llegamos a la conclusión de que en el ruteo que genera la empresa se tiene un costo total de recorrido de S/ 2047.90, que comparada con la ruta propuesta de S/ 1697.82 representa un ahorro del 17.09% mensual del costo, lo cual resulta favorable para Costa Gas, ya que el sistema de reparto es un fenómeno continuo, el que debe estar perfectamente definido para lograr la optimalidad del ruteo.
- Con respecto a las rutas generadas por el algoritmo Clarke y Wright concluimos obteniendo las rutas más optimas que son las siguientes:
 - Ruta 1: planta – Salaverry – california – campiña de moche – moche – planta con un costo de S/ 507.151.
 - Ruta 2: planta-Laredo-La esperanza-Simbal-planta con un costo de S/ 344.934
 - Ruta 3: planta-milagro-Huanchaco-Salaverry-Florencia de mora-planta con un costo de S/ 381.629
 - Ruta 4: planta-Víctor Larco-Porvenir-Trujillo-planta con un costo de S/ 281.173
 - Ruta 5: planta-Covicorti-Salaverry- planta con un costo de S/ 182.869
- Con los resultados obtenidos se concluye que con la aplicación del algoritmo de ahorros al modelo del VRP que es representado por el problema de distribución de la empresa se logra:
 - Cumplir con el objetivo planteado que es optimizar la red de distribución, ahorro del 17% de los costos teniendo un aprovechamiento máximo de la flota de vehículos. Generando 5 rutas factibles de acuerdo con el algoritmo de ahorro, reduciendo el tiempo de ejecución.

RECOMENDACIONES

- Profundizar la investigación usando técnicas de solución exacta, por ejemplo, ramificación y acotamiento, para verificar la confiabilidad de los resultados.
- Establecer un programa de capacitación de los trabajadores en función de las rutas priorizadas en la presente documentación.
- Generar un ruteo con base en las ventanas de tiempo que establecen los clientes.

REFERENCIAS

- Aguirre O, O. (2012). *Propuesta para reducir el costo logístico del transporte primario desde la cervecería del valle a los diferentes centros de distribución mediante un modelo matemático.*
- Alvarez, J. (2016). Retrieved from <https://www.jalvarezmart.com/2016/09/03/12-conceptos-de-seguridad-industrial-utilizados-en-prl/>
- Bermeo, M. (2009). *Diseño de un modelo de optimización de rutas de rutas de transporte.*
- Cadillo Paredes, J. J. (2011). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LA APLICACIÓN DE.*
- Daza, J. (2012). Resolución del problema de enrutamiento de vehiculos con limitaciones de capacidad utilizando un proceso Metaheurístico de dos fases. *EIA,ISSN* , 23-28.
- De la Cruz, O. (2013). *MODELO DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL PARA LA EMPRESA DE AGUA POTABLE, AGUAS DE LA PENINSULA-AGUAPEN,S.A.*
- El Comercio.* (2016). Retrieved from <https://elcomercio.pe/economia/negocios/accidentes-laborales-mejora-cultura-seguridad-opinion-226182>
- Frutos Suarez, C. (2013). *Diseño de un plan de mejoramiento del sistema de seguridad industrial y salud ocupacional (SISO) en la planta de tratamiento bellavista de la empresa publica metropolitana de agua potable y saneamiento EPMAPS."*
- Garces, C. (2010). *Modelo de entregas directas para la reducción de costos logísticos de distribución en empresas de consumo masivo. Aplicación en una empresa piloto de caldas.*

- González, R. J. (2005). *Como reducir de los costos de una manera eficiente y eficaz*. Retrieved from <http://www.monografias.com/trabajos22/reducir-costos/reducir-costos.shtml#ixzz4LfMtZbYK>
- H. Ballou, R. (2004). Retrieved from http://dateca.unad.edu.co/contenidos/102508/Entorno_e_conocimiento_2016/Logistica_Administracion_de_la_cadena_de_suministro_5ta_Edicion_-_Ronald_H._Ballou.pdf
- H. Ballou, R. (2004). *LOGISTICA. Administracion de la cadena de suministro*. Retrieved from http://dateca.unad.edu.co/contenidos/102508/Entorno_e_conocimiento_2016/Logistica_Administracion_de_la_cadena_de_suministro_5ta_Edicion_-_Ronald_H._Ballou.pdf
- Laporte, G. (2007). *what you should about the vehivle routing problem. Les Cahiers du Gerad and Canada Research Chair in Distribution Management*. Canada.
- Ley 29981. (2013). Retrieved from <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-que-crea-la-superintendencia-nacional-de-fiscalizacion-l-ley-n-29981-888965-4/>
- Ley N° 29783. (2016). Retrieved from http://www.munlima.gob.pe/images/descargas/Seguridad-Salud-en-el-Trabajo/Ley%2029783%20_%20Ley%20de%20Seguridad%20y%20Salud%20en%20el%20Trabajo.pdf
- Liong.C.Y., W. R. (2008). *VEHICLE ROUTING PROBLEM: Models and solutions. Quality Measurement and Analysis*.
- Luer, A. (2009). *El problema de rutas de vehiculos: Extensiones y métodos de resolución, estado del arte. WORKSHOP INTERNACIONAL*. Temuco, Chile.
- Milla O, G. (2013). *Plan de mejora del almacén y planificación de las rutas de transporte de una distribuidora de productos de consumo masivo*.

- Muñoz, b. E. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El hombre y la maquina*, 52-67.
- Naula S., F. (2010). *Identificación, Evaluación y Prevención de Riesgos Laborales aplicado a la Planta de Tratamiento de Agua de Sustag.*
- Organización Internacional de Trabajo. (2017). Retrieved from <https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang-es/index.htm>
- Organización Internacional del Trabajo. (2017). Retrieved from <https://www.ilo.org/americas/temas/salud-y-seguridad-en-trabajo/lang-es/index.htm>
- Ramser., D. (1959). *The Truck Dispatching Problem.*
- Reglamento de la Ley N° 29783. (2016). Retrieved from http://www.munlima.gob.pe/images/descargas/Seguridad-Salud-en-el-Trabajo/Decreto%20Supremo%20005_2012_TR%20_%20Reglamento%20de%20la%20Ley%2029783%20_%20Ley%20de%20Seguridad%20y%20Salud%20en%20el%20Trabajo.pdf
- Rocha, L. (2011). *State of the art review of te vehiclle routing problem:A historic account with solving methods.*
- Soriano Panduro, J. A., & Verastegui Atalaya, J. C. (2016). Retrieved from <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8388>
- Toth P., V. D. (2014, septiembre 14). *The vehicle Routing Problem.* Retrieved from http://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=Hbve8tWu5MoC&oi=fnd&pg=PR1&dq=branch+and+bound+VRP&ots=7r0IFMVz_i&sig=QNBU0wU1GAaUoQe1MknAbDK0UBI#v=onepage&q=branch%20and%20bound%20VRP&f=true [Acceso 14 Septiembre 2014]

Trabajo, L. d. (2016). Retrieved from http://www.munlima.gob.pe/images/descargas/Seguridad-Salud-en-el-Trabajo/Ley%209783%20_%20Ley%20de%20Seguridad%20y%20Salud%20en%20el%20Trabajo.pdf

Vásquez Morales, M. A. (2007). *Desarrollo de un framework para problemas de ruteo.*

Verdugo Pillaga, P. (2013). "IDENTIFICACIÓN Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS PUESTOS DE TRABAJO EN LA EMPRESA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EMAPAT-EP".

ANEXOS

1. Instrumento de recolección de datos (Ejm: test)

Tabla 1: Origen- destinos de la empresa a estudiar

Balones de gas

Origen	Destino Población	Ciudad/ Demanda mensual
Planta de Costa GAS	Trujillo	Trujillo
Planta de Costa GAS	Covicorti	Covicorti
Planta de Costa GAS	Salaverry	Salaverry
Planta de Costa GAS	Víctor Larco	Víctor Larco
Planta de Costa GAS	El Porvenir	El Porvenir
Planta de Costa GAS	Laredo	Laredo
Planta de Costa GAS	Florencia de Mora	Florencia de Mora
Planta de Costa GAS	Huanchaco	Huanchaco
Planta de Costa GAS	Milagro	Milagro
Planta de Costa GAS	La esperanza	La esperanza
Planta de Costa GAS	Simbal	Simbal
Planta de Costa GAS	Salaverry	Salaverry
Planta de Costa GAS	Poroto	Poroto
Planta de Costa GAS	California	California
Planta de Costa GAS	Campiña de moche	Campiña de moche
Planta de Costa GAS	Moche	Moche
	Total	19920

Fuente: Elaboración propia mediante datos de la empresa

Datos del producto a transportar

En las tablas 2,3 y 4, se muestra la oferta y descripción del producto, la cual servirá como base para determinar la capacidad de los vehículos y así pueda

satisfacer a las demandas de los clientes.

Tabla 2

Balones de gas	balones de 10 kilos
Cifras	en kilos
unidad de medida	Kilos
Promedio días laborales	23/mes
Turno de trabajo	2

Tabla 3

contenido de camiones	
filas/columnas	4*3/4
capacidad del camión	4608 balones

Tabla 4: Cantidad de balones y productividad diaria, por mes.

	Enero	febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Balones	25000	23000	27000	20000	27000	27000	26000	25000	25000
Productividad diaria	1086.96	1000	1173.9	869.57	1173.9	1173.9	1130.43	1086.96	1086.96

	Enero	febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Balones	24800	22816	26784	19840	26784	26784	25792	24800	24800

La demanda de los 16 destinos se muestra en la tabla 5.

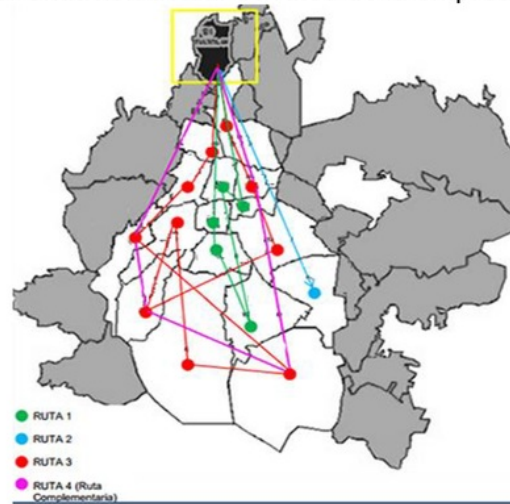
Tabla 5: Demandas promedio de la empresa Costa GAS SAC.

Origen	Destino Ciudad/ Población	Demanda mensual
Planta de Costa GAS	Trujillo	60
Planta de Costa GAS	Covicorti	80
Planta de Costa GAS	Salaverry	120
Planta de Costa GAS	Víctor Larco	160
Planta de Costa GAS	Porvenir	100
Planta de Costa GAS	Laredo	120
Planta de Costa GAS	Florencia de Mora	100
Planta de Costa GAS	Huanchaco	80
Planta de Costa GAS	Milagro	80
Planta de Costa GAS	La esperanza	200
Planta de Costa GAS	Simbal	60
Planta de Costa GAS	Salaverry	40
Planta de Costa GAS	Poroto	120
Planta de Costa GAS	California	100
Planta de Costa GAS	Campaña de moche	160
Planta de Costa GAS	Moche	80
	Total	1660

Fuente: Elaboración propia

La empresa maneja un estándar de los kilómetros del origen al destino en este caso la planta de costa Gas a los 16 destinos, como se puede ver en la tabla 5

Ilustración 3: Situación actual de ruteo de la empresa en estudio.



Fuente: adaptado de: (Google, 2018)

O.E.2: Elaborar diferentes Modelos de una red de distribución y transporte de los balones de gas (Métodos de Ahorros y Barrido), basados en el Vehicle Routing problem (VRP)

Tabla 6: Estandarización de distancias, origen- destino.

Origen	Km	Destino Ciudad/ Población
Planta de Costa Gas	10	Trujillo
Planta de Costa Gas	10	Covicorti
Planta de Costa Gas	10	Salaverri
Planta de Costa Gas	10	Víctor Larco
Planta de Costa Gas	10	Porvenir
Planta de Costa Gas	15	Laredo
Planta de Costa Gas	15	Florencia de Mora
Planta de Costa Gas	25	Huanchaco
Planta de Costa Gas	25	Milagro
Planta de Costa Gas	25	La esperanza
Planta de Costa Gas	25	Simbal

Origen	Km	Destino Ciudad/ Poblacion
Planta de Costa Gas	35	Salaverry
Planta de Costa Gas	35	Poroto
Planta de Costa Gas	35	California
Planta de Costa Gas	35	Campiña de moche
Planta de Costa Gas	35	Moche

Fuente: Elaboración

propia.

Con el supuesto anterior y con base en sus cálculos y conocimientos empíricos, la empresa puede generar un ruteo como el que a continuación se muestra.

Tabla 7: Promedio de distancias y tiempos de Costa Gas a los 16 destinos.

Destino	Km	Avarage	T	Avarage
Trujillo	26.5		35	
	44	35.43333	36	36.33333
	35.8		38	
covicorti	22.9		34	
	23.7	25.2	32	33.66667
	29		35	
Salaverry	28.6		28	
		28.6		28
Víctor Larco	34.9		41	
	37.2	40.8	43	43.33333
	50.3		46	
Porvenir	34.8		44	
	49.7	46.6	48	47
	55.3		49	
Laredo	44.3		47	
	56	51.56667	55	51.66667
	54.4		53	
Florencia de Mora	37.6		40	
		37.6		40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Promedio de distancias y tiempos de la empresa Costa Gas

Huanchaco	40.7		43	
	57.8	46.93333	51	47.66667
	42.3		49	
Milagro	49		38	
	43.7	46.35	46	42
La esperanza	59.3		56	
	60.1	56.86667	57	57
	51.2		58	
Simbal	43.1		45	
		43.1		45
Salaverry	45.7		44	
	57.9	51.8	65	54.5
Poroto	49.8		49	
		49.8		49
California	59.5		56	
	72.1	67.03333	75	70
	69.5		79	
Campaña de moche	66		63	
	64.9	62.53333	66	66
	56.7		69	
moche	73.2		82	
	102	87	95	92.33333
	85.8		100	

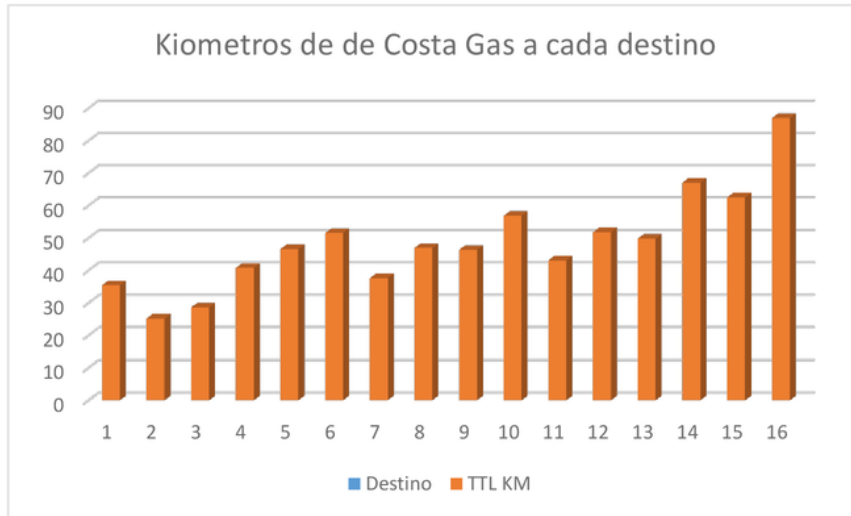
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9: muestra un resumen del promedio de las distancias, entre el origen (La empresa Costa GAS) y los 16 destinos

Destino	KM	t(min))
Trujillo	35.433	36.333
Covicorti	87	92.3333
Moche	25.2	33.667
Salaverry	28.6	28
Víctor Larco	40.8	43.333
Porvenir	46.6	47
Laredo	51.567	51.667
Florencia de Mora	37.6	40
Huanchaco	46.933	47.667
Milagro	46.35	42
La esperanza	56.867	57
Simbal	43.1	45
Salaverry	51.8	54.5
Poroto	49.8	49
Destino	KM	t(min))
California	67.033	70
Campaña de moche	62.533	66
Moche		
TOTAL	777.217	

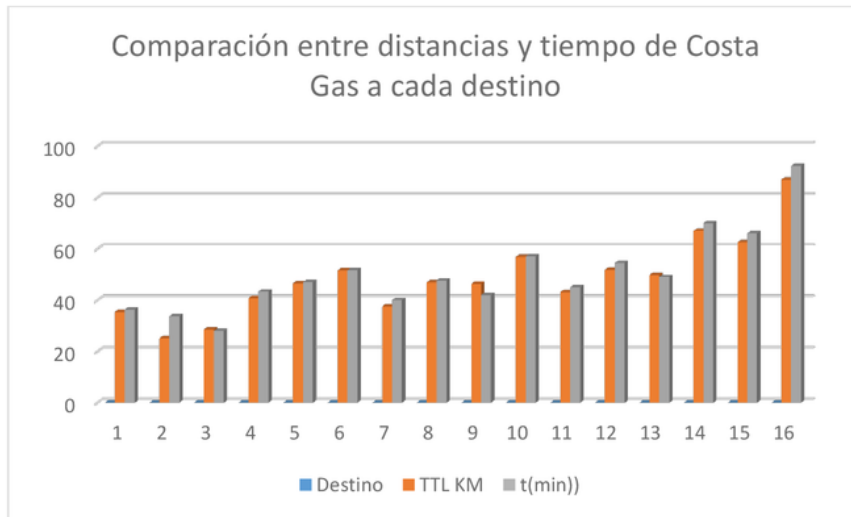
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7: Kilómetros de Costa Gas a cada Destino.



Fuente: elaboración propia

Ilustración 8: Comparación entre distancia y tiempo de Costa GAS a cada destino.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 10: Distancias y tiempos de Costa Gas a los demás destinos.

Destino	KM	AVARAGE	T	AVARAGE
Trujillo	11.8		16	
	11.3	11.46667	18	18
	11.3		20	
Covicorti	14.8		24	
	15.8	15.7667	24	24
	16.7		24	
Salaverry	7.9		15	
	9.9	8.9	15	15
V́ctor Larco	11		17	
	14.8	12.03333	18	18
	10.3		19	
Porvenir	15.9		23	
	19.8	16.96667	24	24
Laredo	15		24	
	14.3	15.26667	26	25.3333333
	16.5		26	
Florenxia de Mora	22.3		30	
	23	22.4	32	33
	21.9		37	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Distancias y tiempos de Costa Gas a los demás destinos.

Fuente: elaboración propia

Huanchaco	26.1		37	
	32.9	34.3	49	44.666667
	43.9		48	
Milagro	25		40	
	25.8	25.566667	39	39.6666667
	25.9		40	
La esperanza	19.8		33	
	22	20.5	33	33
	19.7		33	
Simbal	28.1		33	
	30.8	29.2	39	37.3333333
	28.7		40	
Poroto	32.2		39	
	33.5	33.533333	43	42
	34.9		44	
Campaña de noche	41.9		46	
	30.6	35.1	49	48.6666667
	32.8		51	
Moche	31.5		48	
	29.8	32.53333333	50	49.6666667
	36.3		51	

O.E.3: Evaluación y comparación de los modelos de la red de distribución y transporte por punto de distribución, que optimice la capacidad disponible de las unidades de transporte.

Consumo de combustible para determinación de costo de viaje.

Tabla 13: Consumo de combustible por tipo de vehículo

Vehículo	Carga	Potencia	Circulación	Consumo
carro 1	28 TON	380 CV	NORMAL	32 lt/ 100 Km
carro 2	14 TON	300 CV	NORMAL	23 lt/ 100 Km
carro 3	8 TON	230 CV	NORMAL	21 lt/ 100 Km
carro 4	3.5 TON	180 CV	NORMAL	14 lt/ 100 Km

lt/Km* 13.72 =2.8812

costo de combustible 0.21 \$/lt \$/km

Paso 2 (Aplicación del algoritmo de ahorros): De la matriz de distancias se leen directamente las primeras 16 rutas, todas saliendo de Costa Gas y visitando un solo destino , la Tabla 13 muestra una primera solución del total de rutas que se requieren:

Tabla 14: Solución inicial

RUTA	NODOS	KM
1	0-1-0	70.86
2	0-2-0	50.4
3	0-3-0	57.2
4	0-4-0	81.6
5	0-5-0	93.2
6	0-6-0	103.14
7	0-7-0	75.2
8	0-8-0	93.86
9	0-9-0	92.7
10	0-10-0	113.74
11	0-11-0	86.2
12	0-12-0	103.6
13	0-13-0	99.6
14	0-14-0	134.06
15	0-15-0	125.06
16	0-16-0	174
	TOTAL	1554.42

Fuente: elaboración propia

Esta primera solución tiene un recorrido de 1554.42 kilómetro y requiere de 16 vehículos.

Tabla 15 : Costos de ruteo para los 16 nodos del problema planteado.

RUTA	NODOS	KM	COSTO	COSTO DE FLETE	FLETE CONSOLIDADO
1	0-1-0	70.86	204.162	1877.09	1116.76
2	0-2-0	50.4	145.212	1897.09	1489.01
3	0-3-0	57.2	164.805	1937.09	2233.52
4	0-4-0	81.6	235.106	1977.09	2978.02
5	0-5-0	93.2	268.528	1917.09	1861.27
6	0-6-0	103.14	297.167	1937.09	2233.52
7	0-7-0	75.2	216.666	1917.09	1861.27
8	0-8-0	93.86	270.429	1897.09	1489.01
9	0-9-0	92.7	267.087	1897.09	1489.01
10	0-10-0	113.74	327.708	2017.09	3722.53
11	0-11-0	86.2	248.359	1877.09	1116.76
12	0-12-0	103.6	298.492	1857.09	744.51
13	0-13-0	99.6	286.968	1937.09	2233.52
14	0-14-0	134.06	386.254	1917.09	1861.27
15	0-15-0	125.06	360.323	1977.09	2978.02
16	0-16-0	174	501.329	1897.09	1489.01
		1554.42	4478.595		

Fuente: elaboración propia.


Tabla 16: Matriz simétrica de costo

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0		102.08	72.606	82.402	117.55	134.26	148.58	108.33	135.54	133.54	163.85	124.18	149.25	143.48	193.13	180.16	250.66
1			33.047	45.437	25.643	34.661	48.894	43.996	64.539	98.825	73.672	59.065	84.131	96.607	101.13	93.725	140.6
2				27.861	27.861	46.474	63.473	40.711	54.656	62.724	87.3	59.065	70.878	84.794	106.52	112.45	141.38
3					26.593	53.504	54.167	29.763	34.085	41.864	74.133	42.066	52.063	62.378	82.69	94.791	125.33
4						26.882	34.085	20.831	40.337	54.253	60.793	36.505	59.641	68.774	79.233	76.15	123.4
5							16.999	34.286	64.251	80.184	43.593	45.321	81.624	95.944	70.503	58.287	111.88
6								31.319	52.15	80.472	31.261	37.081	66.93	77.418	59.353	48.692	103.92
7									29.763	59.353	43.42	14.32	41.864	47.626	48.491	61.283	95.368
8										42.555	79.953	30.166	36.879	49.643	74.71	52.946	110.55
9											99.978	71.944	57.768	57.624	98.249	108.53	135.42
10												40.913	79.147	75.199	50.997	23.251	77.418
11													40.827	40.049	39.559	53.014	91.91
12														32.356	63.473	80.097	110.64
13															48.692	78.369	91.622
14																50.421	47.05
15																	67.218
16																	

Tabla 16: Matriz simétrica de costos.

Para determinar la matriz de costos se utiliza el escalar costo de combustible, que tiene el valor de 2.8812 (\$/km), este valor se multiplica para cada uno de los destinos de la matriz simétrica de distancias, resultando la siguiente matriz que se muestra en la Tabla.

AHORROS



141.64	127	173.4	224.9	265.8	225.59	213.78	226.2	197.41	232.6	260.37	287.92	322.87	363.6
139.05	162	163.2	232.1	208.3	231.65	182.52	219.11	233.95	227.61	278.91	198.4	396.74	
193.99	160	176.8	205.1	205.2	201.65	228.76	229.22	232.13	277.75	249.31	302.52		
201.68	158	161	212.4	187.6	281.17	218.19	247.58	305.98	251.33	289.27			
201.77	140	183.5	193.8	254.5	235.17	215.72	229.05	320.76	282.93				
166.8	153	174.1	220.6	213.1	230.9	204.18	253.63	337.09					
172.76	143	172.1	205.2	201.9	214.64	252.97	229.42						
136.8	149	164.5	207.2	181.8	282.36	227.21	275.32						
192.26	138	179.6	192.3	256.9	280.05	263.62							
167.2	151	163.5	231.5	273	295.32								
167.2	131	192.8	221.6										
148.95	159	167.8	244.8										
194.08	140	207.7											
188.52	182												

R

212.14

Fuente: Elaboración propia.

Paso 3. Ordenar los ahorros de mayor a menor.

#	Arco	Ahorro	Arco	Ahorro
1	12	142	1416	396.7
2	13	139	1516	363.6
3	14	194	1016	337.1
4	15	202	1415	322.9
5	16	202	1015	320.8
6	17	166	1014	306
7	18	173	1316	302.5
8	19	137	616	295.3
9	110	192	1216	289.3
10	111	167	1314	287.9
11	112	167	1116	282.9
12	113	149	614	282.4
13	114	194	610	281.2
14	115	189	615	280.1
15	116	212	1214	278.9
16	23	127	1114	277.8
17	24	162	816	275.3
18	25	160	516	273
19	26	158	56	265.8
20	27	140	716	263.6
21	28	153	1213	260.4
22	29	143	514	256.9
23	210	149	515	256.1
24	211	138	510	254.5
25	212	151	814	253.6
26	213	131	714	253
27	214	159	1115	251.3

28	215	140	1215	249.3
29	216	182	916	248.8
30	34	173	812	248.6
31	35	163	1011	247.1
32	36	177	416	244.8
33	37	161	611	235.7
34	38	184	1012	234
35	39	174	1112	233.6
36	310	172	1013	232.1
37	311	165	46	232.1
38	312	180	68	231.7
39	313	164	414	231.5
40	314	193	612	230.9
41	315	168	815	229.4
42	316	208	811	229.2
43	45	225	813	229.1
44	46	232	710	228.8
45	47	205	914	228.4
46	48	212	1113	227.6
47	49	197	715	227.2
48	410	221	89	226.2
49	411	205	67	225.6
50	412	207	912	225.1
51	413	192	45	224.9
52	414	231	415	221.6
53	415	222	410	220.6
54	416	245	913	219.4
55	56	266	810	219.1
56	57	208	711	218.2

57	58	205
58	59	188
59	510	255
60	511	213
61	512	202
62	513	182
63	514	257
64	515	256
65	516	273
66	67	226
67	68	232
68	69	202
69	610	281
70	611	236
71	612	231
72	613	215
73	614	282
74	615	280
75	616	295
76	78	214
77	79	183
78	710	229
79	711	218
80	712	216
81	713	204
82	714	253
83	715	227
84	716	264
85	89	226

712	215.7
613	214.6
78	213.8
511	213.1
48	212.4
116	212.1
57	208.3
316	207.7
412	207.2
411	205.2
58	205.2
915	205.2
47	208.1
713	204.2
512	201.9
16	201.8
15	201.7
69	201.7
1315	198.4
910	197.4
49	196.8
114	194.1
14	194
314	192.8
110	192.3
413	192.3
115	188.5
59	187.5
911	185.8

86	810	219
87	811	229
88	812	248
89	813	229
90	814	254
91	815	229
92	816	275
93	910	197
94	911	186
95	912	225
96	913	219
97	914	228
98	915	205
99	916	249
100	1011	247
101	1012	234
102	1013	232
103	1014	306
104	1015	321
105	1016	337
106	1112	233
107	1113	228
108	1114	278
109	1115	251
110	1116	283
111	1213	260

38	183.5
79	182.5
216	181.9
513	181.8
312	179.6
36	176.8
39	174.1
34	173.4
18	172.8
310	172.1
315	167.8
111	167.2
112	167.2
17	166.4
311	164.5
313	163.5
35	163.2
24	162.3
37	161
25	160.4
214	159.2
26	157.7
28	153.2
212	151
210	149.2
113	149

112	1214	279
113	1215	249
114	1216	289
115	1314	288
116	1315	198
117	1316	303
118	1415	323
119	1416	397
120	1516	364

29	143.4
12	141.6
215	140.3
27	140.2
13	139.1
211	137.7
19	136.8
213	131.3
23	127.2

Rutas generadas por el algoritmo Clarke y Wright

El primer arco que se analiza es el 14-16, que genera la ruta: 0-14-16-0 con un costo acumulado de: $193.13 + 47.05 + 250.66 = \$ 490.84$, y con una demanda a cubrir de: $100 + 80 = 180$ balones. Esta ruta es factible, pues respeta las restricciones del problema y mejora la solución anterior, reduciendo el costo total a $\$ 4081.98$ y el número de vehículos a 15. La siguiente tabla muestra la nueva solución.

Tabla 17 Segunda solución utilizando el mayor ahorro.

Fuente: elaboración propia

RUTA	NODOS	COSTO
		S/
1	0-1-0	204.17
2	0-2-0	145.218
3	0-3-0	164.81
4	0-4-0	235.114
5	0-5-0	268.537
6	0-6-0	297.177
7	0-7-0	216.674
8	0-8-0	270.439
9	0-9-0	267.097
10	0-10-0	327.719
11	0-11-0	248.368
12	0-12-0	298.503
13	0-13-0	286.977
	0-14-	
14	16-0	490.84
15	0-15-0	360.335
		S/
	TOTAL	4,081.98

El siguiente arco a analizar es el 15-16 que al combinarse con la ruta 0-14-16-0 previamente analizada genera la ruta 0-14-16-15-0, con un costo acumulado de: $193.13 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = \$ 487.558$, y con la demanda de $100 + 80 + 160 = 340$ balones, con lo cual se verifica que esta unión entre los arcos

es factible, por lo tanto se acepta la unión. Posteriormente se analiza el arco 10-16, que al combinarse con la ruta 0-14-16-15-0, genera la ruta 0-10-14-16-15-0, con un costo acumulado de:

$163.85 + 50.997 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = \$ 509.275$, y con una demanda a satisfacer de $200 + 100 + 80 + 160 = 540$ balones. En donde $540 > 384$, por lo tanto, se rechaza la unión debido a que no respeta la capacidad del vehículo.

Continuamos con el arco 14-15, dicho arco ya está incluido en la ruta anterior. Después se analiza el arco 10-15 en donde resulta que el nodo 10 ya se analizó previamente y resulta que si se incluye supera la capacidad del vehículo que es de 384 balones, mientras que el nodo 15 ya está incluido. Por lo tanto se rechaza la unión. Enseguida se analiza el arco 10-14, el cual ya fue analizado y resulto rechazado. Continuamos con el arco 13-16, que al combinarse con la ruta 0-14-16-15-0, genera la ruta 0-13-14-16-15-0, con un costo acumulado de $143.48 + 48.692 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = \$ 486.6$, y una demanda a cubrir de $120 + 100 + 80 + 160 = 460 > 384$, con lo cual nos indica que la capacidad está siendo rebasada, por lo tanto se rechaza la unión de los arcos. En el arco 6-16 se combina con la ruta 0-14-16-15-0 y genera la ruta 0-6-14-16-15-0, de donde en primera instancia se calcula la demanda a cubrir y resulta $120 + 100 + 80 + 160 = 460$ balones, por lo que $460 > 384$ entonces se rechaza la unión de los arcos. A continuación se tiene el arco 12-16, que al combinarse con la ruta 0-14-16-15-0, genera la ruta 0-12-14-16-15-0, generando un costo de: $149.25 + 63.473 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = \$ 507.151$ y una demanda acumulada de: $40 + 100 + 80 + 160 = 380 < 384$, por lo tanto se acepta la unión. En la tabla 16 se observa el resumen de las uniones de los arcos.

Tabla 18: Resumen de las uniones de los arcos mediante el algoritmo Clarke and Wright.

ARCO	RUTA GENERADA	COSTO ACUM [\$]	CAPACIDAD ACUM [cajas]	ACEP/RECH
14-16	0-14-16-0	193.13 + 47.05 + 250.66 = 490.84	100+80 = 180	ACEPTAR
15-16	0-14-16-15-0	193.13 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = 487.558	100+80+160 = 340	ACEPTAR
10-16	0-10-14-16-15-0	163.85 + 50.997 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = 509.275	200 + 100 + 80 + 160 = 540	RECHAZAR
14-15	Arco Incluido			
10-15	0-14-16-15-10-0		100 + 80 + 160 + 200 = 540	RECHAZAR
10-14	0-10-14-16-15-0	163.85 + 50.997 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = 509.275	200 + 100 + 80 + 160 = 540	RECHAZAR
13-16	0-13-14-16-15-0		120 + 100 + 80 + 160 = 460	RECHAZAR
6-16	0-6-14-16-15-0		120 + 100 + 80 + 160 = 460	RECHAZAR
12-16	0-12-14-16-15-0	149.25 + 63.473 + 47.05 + 67.218 + 180.16 = 507.151	40 + 100 + 80 + 160 = 380	ACEPTAR
13-14	0-13-14-16-15-0			RECHAZAR
11-16	0-11-12-14-16-15-0			RECHAZAR
6-14	0-6-12-14-16-15-0			RECHAZAR
6-10	0-6-10-0	148.58 + 31.261 + 163.85 = 343.691	120 + 200 = 320	ACEPTAR
6-15	Arco Incluido			RECHAZAR
12-14	Arco Incluido			RECHAZAR
11-14			Sobrepasa capacidad	RECHAZAR
8-16			Sobrepasa capacidad	RECHAZAR
5-16				RECHAZAR
5-6	0-5-6-10-0	134.26 + 16.999 + 31.261 + 163.85 = 346.37	100 + 120 + 200 = 420	RECHAZAR
7-16				RECHAZAR
12-13				RECHAZAR
5-14				RECHAZAR
5-15				RECHAZAR
5-10				RECHAZAR
8-14				RECHAZAR
7-14				RECHAZAR
11-15				RECHAZAR
12-15	Arco Incluido			RECHAZAR
9-16				RECHAZAR
8-12				RECHAZAR
10-11	0-6-10-11-0	148.58 + 31.261 + 40.913 + 124.18 = 344.934	120 + 200 + 60 = 380	ACEPTAR
4-16				RECHAZAR
6-11	Arco Incluido			RECHAZAR

3-7		Sobrepasa Capacidad		RECHAZAR
2-5		Sobrepasa Capacidad		RECHAZAR
2-14		Sobrepasa Capacidad		RECHAZAR
2-6		Sobrepasa Capacidad		RECHAZAR
2-8		Sobrepasa Capacidad		RECHAZAR
2-12		Sobrepasa Capacidad		RECHAZAR
2-10		Sobrepasa Capacidad		RECHAZAR
1-13	Arco Incluido			RECHAZAR
2-9		Sobrepasa Capacidad		RECHAZAR
1-2	0-4-5-1-2-0	$117.55 + 26.882 + 34.6608 + 33.047 + 72.606 = 284.746$	$160 + 100 + 60 + 80 = 400$	RECHAZAR
2-15				RECHAZAR
2-7				RECHAZAR
1-3				RECHAZAR
2-11				RECHAZAR
1-9				RECHAZAR
2-13				RECHAZAR
2-3	0-2-3-0	$72.606 + 27.661 + 82.402 = 182.869$	$80 + 120 = 200$	ACEPTAR

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 19. Están contenidas las rutas que se generaron al utilizar el algoritmo de ahorros, como se puede observar, de las 16 rutas que se tenían en la primera solución, con este algoritmo se generaron 5 rutas las cuales cumplen con las restricciones de capacidad y costo de transporte por kilómetro.

Tabla 19: Rutas generadas por el algoritmo Clarke y Wright.

Fuente: elaboración propia

Ruta	Nodos	costo Total
1	0-12-14-16-15-0	507.151
2	0-6-10-11-0	344.934
3	0-9-8-13-7-0	381.629
4	0-4-5-1-0	281.171
5	0-2-3-0	182.869
	Total	1697.76

En la tabla 20 están las mismas rutas, pero se muestran de acuerdo al nombre correspondiente a cada delegación, este nuevo ruteo tiene un costo de \$1697.82, dicho valor es más aceptable por mucho en comparación con la primera solución.

Tabla 20: Rutas generadas por el algoritmo Clarke y Wright.

Fuente: elaboración propia

Nodos	costo total
planta-Salaverry-california-campiña de moche-moche- planta	507.151
planta-Laredo-La esperanza-Simbal-planta	344.934
planta-milagro-Huanchaco-Salaverry-Florenxia de mora	381.692
planta-Víctor Larco-Porvenir-Trujillo-planta	281.173
planta-covicorti-Salaverry- planta	182.869
Total	1697.819

Nueva red de distribución

La solución final del método de Clarke y Wright consiste en 5 rutas que acumulan un costo total de recorrido de \$ 1697.82, la cual mejora a la segunda solución que mantenía un costo total de recorrido de \$ 4081.98. Además, el número de vehículos disminuye a 5 y respetando en todas las rutas las restricciones de no tener un costo de recorrido de \$ 1296.54

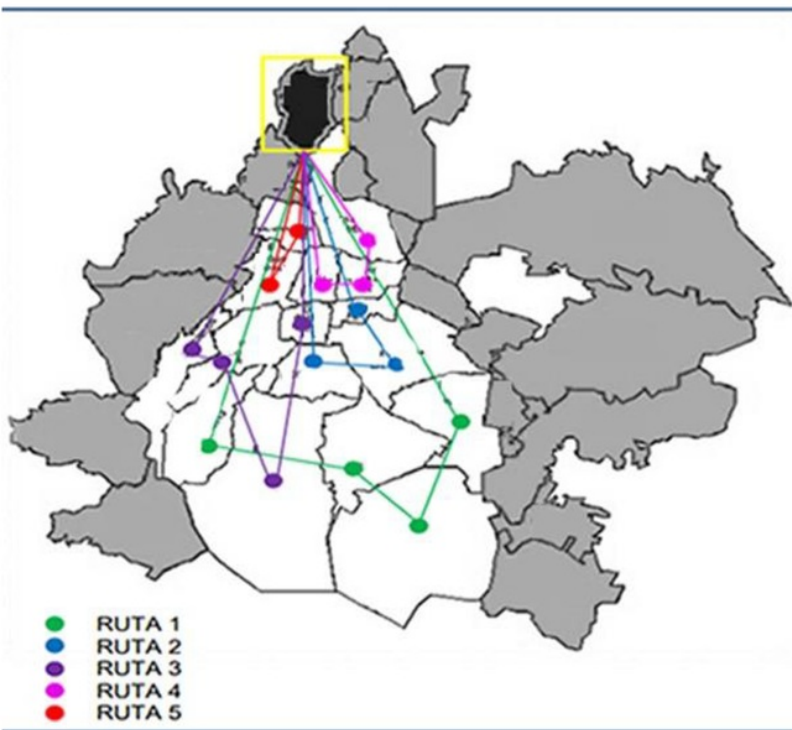


Ilustración 4: .Gráfica de la nueva red de distribución.
Fuente: elaboración propia mediante (Google,2018).

2. Evidencias de la ejecución de la propuesta (diseños de sesiones, talleres, fotos, etc.)



3. R.D. que aprueba el proyecto de investigación



UPAO | Facultad de Ingeniería

Tuñillo, 11 de marzo del 2019

Resolución N° 0415-2019-FI-UPAO

VISTO, el Dictamen favorable de Evaluación del proyecto de tesis, titulado "DISEÑO DE UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE, Y SU IMPACTO EN LOS COSTOS DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA COSTA GAS S.A.C.", de los bachilleres MOGOLLON OVIEDO FIORELLA LOURDES y ZAFRA CASTILLO ASTRID KAROLAY de la Carrera Profesional de Ingeniería Industrial, y;

CONSIDERANDO:

Que, el jurado evaluador conformado por los señores Ing. ANGEL LOPEZ AGUILAR, Presidente; Ing. JULIO MILTON TERRONES ROMERO, Secretario e Ing. DILMAR SANTOS QUIÑONES CARBAJAL, Vocal; han revisado el proyecto de tesis, encontrándolo conforme;

Que, el proyecto de tesis ha sido elaborado conforme a las exigencias prescritas por el Reglamento de Grados y Títulos de Pregrado de la Universidad, el mismo que fue sometido a evaluación por el mencionado jurado evaluador, quien por acuerdo unánime recomendó su aprobación, tal como se desprende del informe elevado a la Facultad de Ingeniería;

Que, de acuerdo al Artículo 28° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad, el proyecto de tesis se inscribe en el libro de proyectos de tesis a cargo de la secretaría académica de la facultad;

Estando al Estatuto de la Universidad, al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad y a las atribuciones conferidas a este Despacho;

SE RESUELVE:

PRIMERO: APROBAR la modalidad de titulación solicitada por los bachilleres MOGOLLON OVIEDO FIORELLA LOURDES y ZAFRA CASTILLO ASTRID KAROLAY, consistente en presentación, ejecución y sustentación de una TESIS para optar el título profesional de INGENIERO INDUSTRIAL.

SEGUNDO: APROBAR y DISPONER la inscripción del Proyecto de Tesis titulado: "DISEÑO DE UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE, Y SU IMPACTO EN LOS COSTOS DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA COSTA GAS S.A.C.", presentado por los citados bachilleres.

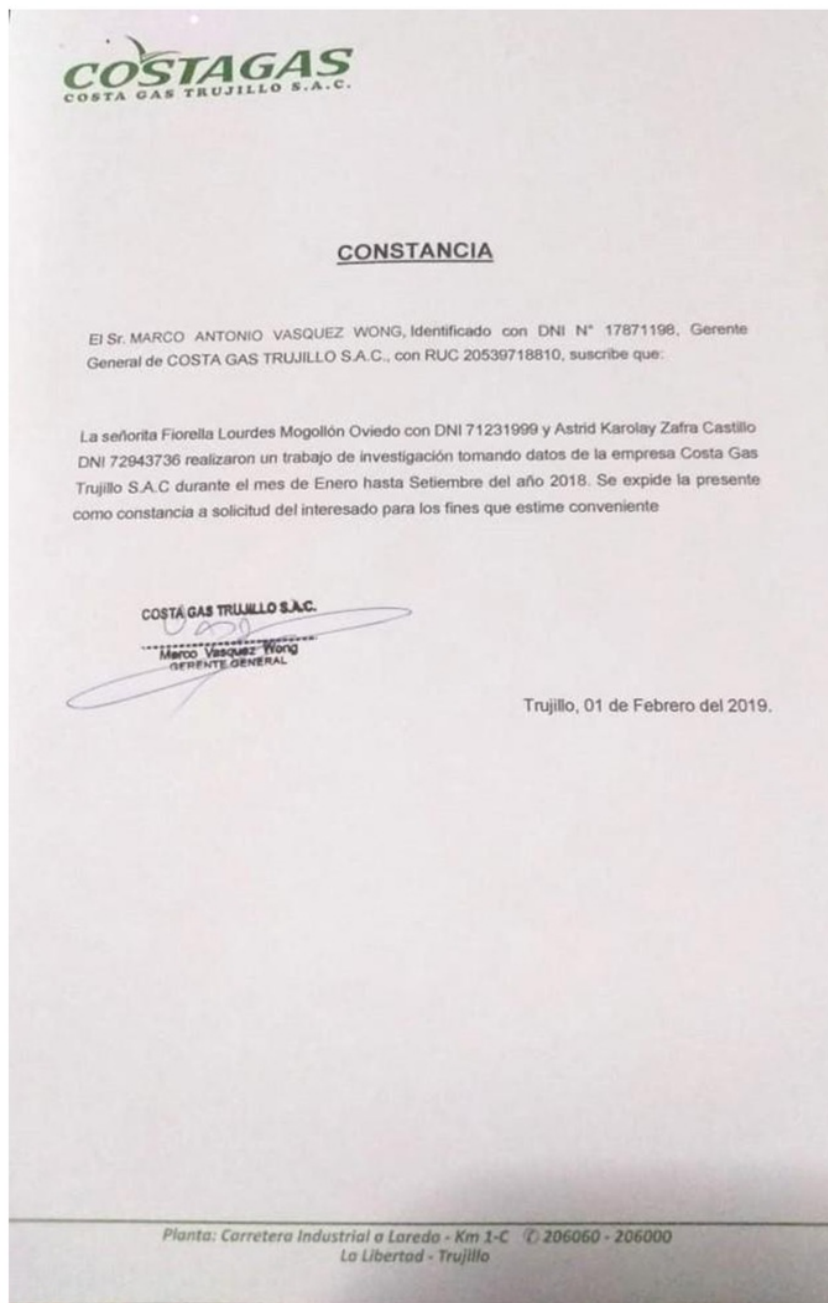
TERCERO: COMUNICAR a los bachilleres que tienen un plazo máximo de UN AÑO para desarrollar su tesis, a cuyo vencimiento, se produce la caducidad del mismo, perdiendo el derecho exclusivo sobre el tema elegido.

REGISTRESE, COMUNIQUESE y ARCHIVASE.


Dr. ELMER HUGO GONZALEZ HERRERA
DECANO

C.C.
✓ Escuela Profesional de Ingeniería Industrial
✓ Intermedio
✓ Avance
✓ Clave Proyecto

4. Constancia de la Institución y/o organización donde se ha desarrollado la propuesta de investigación



DISEÑO DE UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE Y SU IMPACTO EN LOS COSTOS DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA COSTA GAS S.A.C

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.scribd.com

Fuente de Internet

3%

2

catarina.udlap.mx

Fuente de Internet

2%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 2%

Excluir bibliografía

Activo