

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

UNIDAD DE TITULACIÓN

**OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS LICUADO
DE PETROLEO (GLP) EN CILINDROS DEL SEGMENTO
DOMÉSTICO EN LA PARROQUIA CALDERON, CANTÓN QUITO,
ECUADOR.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAGISTER EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, MENCIÓN OPERACIONES
EN SECTORES ESTRATÉGICOS**

ESTEBAN EDUARDO SANDOVAL MOSCOSO

Estebansandoval20@hotmail.com

Director: Pedro Enrique Buitrón Flores

Pedro.buitron@epn.edu.ec

2020

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

Como director del trabajo de titulación OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP) EN CILINDROS DEL SEGMENTO DOMÉSTICO EN LA PARROQUIA CALDERON, CANTÓN QUITO, ECUADOR desarrollado por Esteban Eduardo Sandoval Moscoso, estudiante de la MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, habiendo supervisado la realización de este trabajo y realizado las correcciones correspondientes, doy por aprobada la redacción final del documento escrito para que prosiga con los trámites correspondientes a la sustentación de la Defensa oral.

Pedro Enrique Buitrón Flores

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Esteban Eduardo Sandoval Moscoso, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Esteban Eduardo Sandoval Moscoso

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres por ser mis pilares y fuente infinita de apoyo y amor incondicional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por siempre ser ejemplo de esfuerzo, voluntad, buena actitud, liderazgo y por enseñarme que nunca se deja de aprender.

Agradezco a mi director, Pedro Buitrón, por su incansable paciencia, enseñanza y voluntad ante todo momento para compartir su conocimiento e impartir efectivas directrices durante esta maestría.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen	v
Abstract	vi
Capítulo I	1
1. Introducción	1
1.1. Pregunta de investigación	2
1.2. Objetivo general	2
1.3. Objetivos específicos	2
1.4. Hipótesis	2
1.5. Marco teórico	3
1.5.1. Gas licuado de petróleo (glp)	3
1.5.2. Demanda	6
1.5.2.1. Tipos de demanda	7
1.5.2.2. Pronóstico de la demanda	8
1.5.2.3. Pronóstico con suavizado exponencial (brown, holt y winters)	9
1.5.3. Cadena de suministro	9
1.5.4. Almacenamiento	13
1.5.5. Inventarios	15
1.5.6. Optimización de la red	17
1.5.7. Identificación del tipo de red de distribución	19
1.5.7.1. Almacenamiento con el fabricante con envío directo	20
1.5.7.2. Almacenamiento con el fabricante con envío directo y consolidación en tránsito	20
1.5.7.3. Almacenamiento con el distribuidor con entrega por mensajería	20
1.5.7.4. Almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio	21
1.5.8. Programación lineal	22
1.5.9. Ruta más corta	24
1.5.10. Indicadores de desempeño de la red de distribución	25
Capítulo II	27
2. Metodología	27
2.1. Enfoque del proyecto	27
2.2. Alcance del proyecto de investigación	27
2.3. Diseño de la investigación	28
2.4. Selección de la muestra	28
2.4.1. Límites geográficos de distribución	28
2.4.2. Demanda de gas licuado de petróleo de la parroquia calderón	29
2.5. Caracterización de la red	31
2.5.1. Geolocalización de la infraestructura de distribución	31
2.5.2. Características técnicas de la infraestructura de distribución	31

2.5.3. Capacidad de transporte.....	32
2.6. Herramientas de análisis de datos.....	33
2.6.1. Selección de software gis	33
2.6.2. Modelo actual de red.....	33
2.6.3. Identificación del tipo de red	33
2.6.4. Indicadores de desempeño.....	33
2.7. Optimización de la red de distribución de glp	34
2.7.1. Análisis de variables y aplicación del algoritmo.....	34
2.7.2. Correlación de variables	34
2.7.3. Evaluación.....	34
Capítulo III	35
3. Resultados y discusión	35
3.1. Resultados	35
3.1.1. Límites geográficos de distribución y abastecimiento	35
3.1.2. Caracterización de la red	36
3.1.2.1. Almacenamiento y distribución.....	36
3.1.2.2. Geolocalización de la infraestructura de distribución	39
3.1.2.3. Rutas de distribución	42
3.1.2.4. Capacidad de transporte	49
3.1.3. Demanda de la red de distribución	51
3.1.3.1. Depósitos de distribución	51
3.1.3.2. Centros de acopio.....	52
3.1.4. Proyección de la demanda.....	55
3.1.5. Herramientas de análisis de datos.....	58
3.1.5.1. Selección de software gis.....	58
3.1.5.2. Modelo de la red de distribución actual	58
3.1.5.3. Identificación del tipo de red.....	59
3.1.5.4. Indicadores de desempeño	61
3.1.6. Optimización de la red de distribución de gas licuado de petróleo	61
3.1.6.1. Ruta más corta	62
3.1.6.2. Correlación de variables.....	64
3.1.6.3. Evaluación de la red actual y su optimización.....	68
3.1.6.4. Evaluación de capacidad - utilización.....	69
3.1.6.5. Evaluación transporte – fracción transportada.....	71
3.2. Discusiones	73
4. Conclusiones.....	75
5. Recomendaciones	76
referencias bibliográficas.....	77
Anexos.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema típico del Proceso FCC	4
Figura 2. Esquema de un horno típico de craqueo a vapor	5
Figura 3. Etapas de una cadena de suministro.....	10
Figura 4. Cadena de suministros inmediata para una empresa individual	12
Figura 5. Taxonomía de la toma de decisiones	19
Figura 6. Almacenamiento con el fabricante con envío directo	20
Figura 7. Almacenamiento con el fabricante con envío directo y consolidación en tránsito.....	20
Figura 8. Almacenamiento con el distribuidor con entrega por mensajería	21
Figura 9. Almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio	21
Figura 10. Reporte del Sistema STC	29
Figura 11. Geolocalización de Calderón	35
Figura 12. Terminal y Plantas en parroquia Pifo.....	38
Figura 13. Radios cubiertos actualmente por distribuidores	41
Figura 14. Abastecimiento de los centros de acopio	42
Figura 15. Rutas de Abastecimiento de Planta a Centros de Acopio	43
Figura 16. Red de abastecimiento del Centro de Acopio 1	44
Figura 17. Red de abastecimiento del Centro de Acopio 2	45
Figura 18. Red de abastecimiento del Centro de Acopio 3	45
Figura 19. Red de abastecimiento del Centro de Acopio 4	46
Figura 20. Red de abastecimiento del Centro de Acopio 5	46
Figura 21. Red de abastecimiento a depósitos desde la Planta Duragas	47
Figura 22. Comparativa Demanda Centros de Acopio 2018 a 2019	54
Figura 23. Selección de parámetros de pronóstico.....	55
Figura 24. Diagrama de la Red de abastecimiento de la Parroquia Calderón	59
Figura 25. Diagrama de red de abastecimiento de planta a centro de acopio a depósito.....	60
Figura 26. Diagrama de red de abastecimiento planta a depósito	60
Figura 27. Ingreso de configuración de nodos en POM-QM	62
Figura 28. Cálculo de la ruta óptima entre Planta y el Depósito 1	63
Figura 29. Geolocalización de la Red Optimizada	67
Figura 30. Diagrama de la Red Optimizada	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rendimiento de GLP en los procesos de refinación de hidrocarburos.....	3
Tabla 2. Mercados a cuantificarse	7
Tabla 3. Actividades Clave en Logística	12
Tabla 4. Actividades de Apoyo en Logística	13
Tabla 5. Clasificación de Almacenes	14
Tabla 6. Clasificación de las restricciones	24
Tabla 7. Formato para registro de cilindros enviados a cada depósito de distribución	30
Tabla 8. Formato para registro de cilindros despachados desde planta de envasado	30
Tabla 9. Formato de geolocalización de la Infraestructura	31
Tabla 10. Datos técnicos de la infraestructura de distribución	32
Tabla 11. Datos Técnicos de Planta de Envasado	32
Tabla 12. Datos del transporte de GLP en cilindros	32
Tabla 13. Características de los depósitos de distribución	36
Tabla 14. Características de los Centros de Acopio	38
Tabla 15. Características de Plantas de Envasado	38
Tabla 16. Coordenadas Depósitos de Distribución de Calderón	39
Tabla 17. Coordenadas Centros de Acopio de Calderón	40
Tabla 18. Coordenadas Plantas de Envasado.....	41
Tabla 19. Distancias desde la Planta de Envasado ENI a Acopios.....	43
Tabla 20. Depósitos Vinculados a la Infraestructura de distribución	44
Tabla 21. Distancias de distribución del modelo actual	47
Tabla 22. Capacidad de Transporte de entre depósitos y Acopios	49
Tabla 23. Capacidad de transporte de Entre Planta y Centros de Acopio	50
Tabla 24. Demanda Anual de Depósitos de Distribución de Calderón.....	51
Tabla 25. Demanda de cilindros Centros de Acopio 2018.....	53
Tabla 26. Demanda Centros de Acopio 2019	53
Tabla 27. Variación porcentual de la demanda en acopios de cilindros de glp	54
Tabla 28. Pronóstico de demanda 2020 depósitos de distribución	56
Tabla 29. Pronóstico de demanda 2020 centros de acopio.....	57
Tabla 30. Distancias totales óptimas de la red optimizada	63
Tabla 31. Correlación de variables de almacenamiento y transporte	65
Tabla 32. Selección de depósitos para la red óptima	66
Tabla 33. Evaluación de la utilización de los Centros de Acopio - 2018	69
Tabla 34. Evaluación de la utilización de los Centros de Acopio – 2019.....	69
Tabla 35. Evaluación de la utilización de los Centros de Acopio – 2020.....	70
Tabla 36. Utilización de la capacidad de Almacenamiento de los Depósitos de Distribución	70
Tabla 37. Evaluación de la fracción transportada por los Centros de Acopio – 2018	71

Tabla 38. Evaluación de la fracción transportada por los Centros de Acopio – 2019	71
Tabla 39. Evaluación de la fracción transportada por los Centros de Acopio – 2020	72
Tabla 40. Fracción transportada de la red óptima	72

LISTA DE ANEXOS

Anexo I. Demanda de Depósitos de Distribución 2018	81
Anexo II. Demanda de Depósitos de Distribución 2019	83
Anexo III. Matriz de Distancias entre Centros de Acopio y Depósitos de distribución	85

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación I. Función Objetivo.....	23
Ecuación II. Restricciones al modelo de programación lineal.....	24

RESUMEN

Esta tesis de Maestría ha sido desarrollada con el fin de plantear la optimización a la red de distribución de gas licuado de petróleo en cilindros del segmento doméstico para la parroquia Calderón del cantón Quito, a través de la estimación de la demanda para el año 2020, análisis de las características técnicas de la infraestructura y la identificación del tipo de red que permitirá optimizar tanto las rutas de abastecimiento como la utilización de las capacidades de la red. Los mencionados resultados se obtienen mediante el uso de software libre y la correlación de las variables críticas de abastecimiento determinadas. La optimización se evalúa en las nuevas rutas obtenidas e indicadores de desempeño aplicados acorde a la red identificada para presentar un modelo optimizado tanto en su red de abastecimiento como en la utilización de sus capacidades actuales. Los resultados de este trabajo han determinado la necesidad de reducir la infraestructura y rediseñar la actual red de distribución, que en conjunto van a permitir garantizar el nivel de servicio de abastecimiento. El presente trabajo puede representar para las autoridades competentes, una metodología para la planificación, diseño o rediseño de una red de distribución nacional de gas licuado de petróleo en cilindros óptima que permita no desviar el subsidio otorgado a este producto por el Estado ecuatoriano.

Palabras clave: Optimización, Redes, Distribución, Gas licuado de petróleo (glp), correlación

ABSTRACT

This Master thesis has been developed in order to propose the optimization of the current distribution network of liquefied petroleum gas (cylinders) in the domestic segment for the Calderón parish located in Quito, through the estimation of lpg demand for the year 2020, analysis of the technical characteristics of the available infrastructure and the identification of the type of network that will optimize both supply routes and the network capacities. The mentioned results are obtained through the use of free software and the correlation of the determined critical supply variables. Optimization is evaluated through the new routes obtained and performance indicators according to the identified network type to present an optimized model (supply network and use of its current capacities). The results of this work have determined the need to reduce the infrastructure and redesign the current distribution network, which together will guarantee the level of supply service. This work can represent for the competent authorities, a methodology for the planning, design or redesign of a national distribution network of liquefied petroleum gas in cylinders with the highest possible efficiency that does not divert the subsidy granted to this product by the Ecuadorian State.

Keywords: Optimization, Networks, Distribution, Liquefied petroleum gas (lpg), Correlation

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es uno de los combustibles más importantes y utilizados en el Ecuador para el sector doméstico e industrial. En el segmento doméstico, su precio subsidiado, actualmente \$1,65 por cilindro de 15 kg, ha permitido que su acceso y consumo sea masivo y pueda ser utilizarse en todo tipo de usos (cocción de alimentos, calentamiento de agua, secado de ropa, etc.). Para el uso industrial, el GLP está orientado hacia las actividades de secado de grano, industrias o usos suntuarios que pagan un precio sin subsidio

Actualmente la demanda de GLP en el Ecuador en promedio es de 900 millones de kilogramos por año, que históricamente tiene una tendencia al alza, sin embargo, en el país únicamente se produce el 20% de esta demanda nacional, el diferencial requiere la importación del combustible que a su vez encarece los costos generales de este producto. El Estado al subsidiar un producto con un porcentaje de importación tan representativo, termina gastando un estimado de 600 millones de dólares anuales. Espinoza y Guayanlema definen al Subsidio energético como "(...) una prestación pública asistencial de carácter económico (en dinero o en especie) y de duración determinada a un productor o a un consumidor de la energía" (Espinoza Echeverría & Guayanlema, 2017).

En la historia del Ecuador incluido las últimas manifestaciones del mes de octubre de 2020, ha quedado demostrado que la disminución o eliminación de algún subsidio a los combustibles tiene un alto impacto político, Creamer y Becerra mencionan que las políticas de subsidios han funcionado "...como instrumento político para consentir a las masas, y dejándolo desatendido y sin el control necesario, puede llegar a absorber una importante proporción de los recursos estatales que pudieran ser utilizados para otras áreas cruciales, como educación o salud" (Creamer Guillén & Becerra Robalino, 2016).

Al existir una diferencia importante entre el precio doméstico e industrial que aproximadamente es de \$12,00 por cilindro de 15 kg de GLP, vuelve lucrativo el desvío de este combustible y alto el perjuicio al Estado. Por lo tanto, las medidas para eliminar o minimizar este delito son imperativas.

La actual red de distribución que posee el gas licuado de petróleo está definida por el Marco legal vigente, sin embargo, las reglas establecidas son generales para su comercialización y distribución, no establece los parámetros técnicos específicos o de evaluación para evitar el desvío del combustible.

La optimización de la red de distribución se plantea como una solución que permitirá encontrar un modelo de distribución que considere las variables que actualmente afectan la cadena de suministro de GLP en cilindros, como son: la demanda, el flujo de información, la ubicación, capacidad de distribución, instalaciones y capacidad de almacenamiento, con el objetivo que el abastecimiento al segmento doméstico sea de forma eficiente y correcta acorde a una demanda real de la población. El consumo de GLP en cilindros en la parroquia de Calderón actualmente se enfoca en dos segmentos, el doméstico y el industrial.

1.1. Pregunta de investigación

¿La optimización de la red de distribución de gas licuado de petróleo permite garantizar el nivel de servicio de abastecimiento?

1.2. Objetivo general

Optimizar la red de distribución de GLP en cilindros del segmento doméstico para la parroquia de Calderón que permita un eficiente abastecimiento y correcta focalización del subsidio.

1.3. Objetivos específicos

1. Determinar la demanda de GLP en cilindros del segmento doméstico en la parroquia de Calderón.
2. Analizar las características técnicas actuales de almacenamiento y distribución de los centros de abastecimiento y medios de transporte que participan en la red.
3. Diseñar una red de distribución optimizada.
4. Evaluar la Red optimizada.

1.4. Hipótesis

La optimización de la red de distribución de GLP en cilindros en el segmento doméstico permite garantizar el nivel de servicio de abastecimiento.

1.5. Marco Teórico

1.5.1. Gas Licuado de Petróleo (GLP)

El gas licuado de petróleo (GLP) es una mezcla de propano y butano que tiene como propiedades ser incoloro, inodoro, insípido y sin una forma particular, actualmente se lo puede obtener de los yacimientos, de plantas recuperadoras de gas y del petróleo después de un proceso de refinación. En el país la producción nacional es a través de campo amistad y de las refinerías. (Cortez, 2012)

El GLP cuando es resultante de los procesos industriales en la refinación de crudo y sus derivados se lo obtiene de acuerdo con los rendimientos de cada proceso, en general el rendimiento se entiende como el porcentaje del producto terminado que fue obtenido a partir de la entrada de petróleo crudo y sus derivados. En la Tabla 1 se presentan los diferentes rendimientos que presentan los procesos de refinación para la obtención del gas licuado de petróleo:

Tabla 1.

Rendimiento de GLP en los procesos de refinación de hidrocarburos

Proceso	Materia prima	Producción	Rendimiento
Reformado catalítico	Naftas Ligeras	Aromáticos Isoparafinas	5 – 10%
Craqueo catalítico	Gas - oil Nafta	Etileno y Propileno	5 – 12%
Steam Cracking	Gas-oil	Etileno y Propileno	23 – 30%
Alquilación	Butanos	Gasolinas	10 – 15%
Craqueo Térmico	Gas-oil Fuel-oil	Gasolinas	10 - 20%

Nota. Adaptado de “Sitio web de los Gases Licuados del Petróleo”, por Ministerio para la Transición Ecológica de España, 2019, (<https://energia.gob.es/GLP/Paginas/Index.aspx>)

- **Reformado Catalítico**

Es un proceso de refinación también conocido como *platforming*, que tiene como objetivo incrementar el índice de octanos de una nafta obtenida previamente en el proceso de

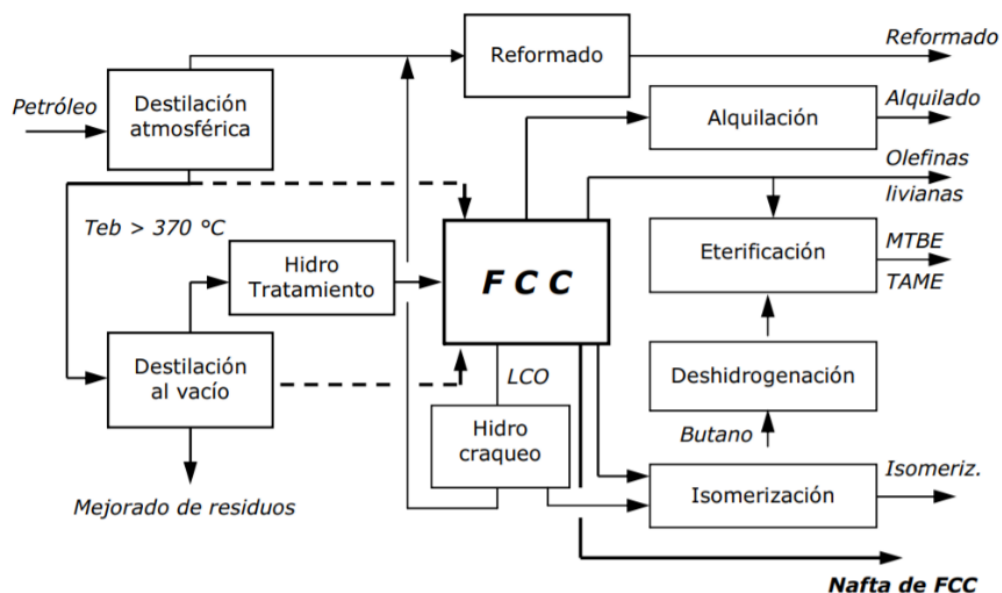
destilación atmosférica, para lograr ese cambio son necesarias reacciones de arometización e isomerización, estas se producen mediante un proceso catalítico que permite la transformación de los hidrocarburos que ingresaron como materia prima en aromáticos e isoparafinas, comúnmente se usa un catalizador de platino (soporte de zeolita (ácida) sobre la que se deposita el platino), este componente favorece las reacciones de deshidrogenación y la acidez favorece la isomerización (Montesdeoca, 2013).

- **Craqueo Catalítico**

El Craqueo Catalítico Fluidizado o también conocido como FCC es considerado como uno de los procesos más importantes dentro de la refinación de petróleo cuando se trata de convertir componentes pesados en livianos. En la Figura 1 se puede observar el esquema típico que posee este proceso y su capacidad de producir mediante el craqueo y catalizadores una gran variedad de productos, entre estos están: gases secos (C1 – C2), gas licuado de petróleo (C3 – C4), gasolinas (C5); aceites livianos de ciclo (216 °C – 344 °C) y la fracción +344 °C que se consideran aceites pesados de ciclo (Passamonti, 2008).

Figura 1.

Esquema típico del Proceso FCC



Nota. Tomado de “Nueva Metodología para la Evaluación de Catalizadores de Craqueo Catalítico de Hidrocarburos” (p. 5) por F. J. Passamonti, 2008.

- **Alquilación**

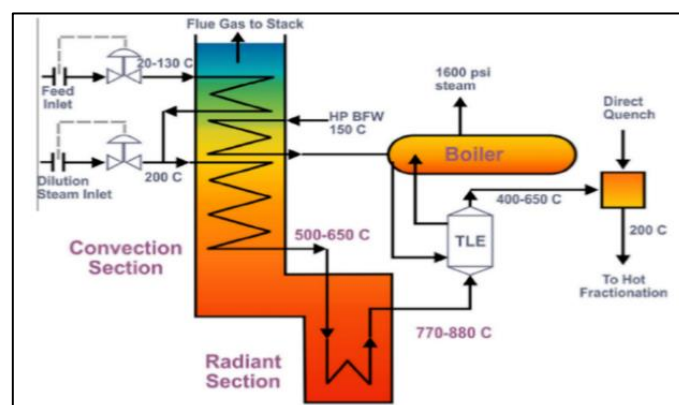
El proceso de alquilación en la refinación de petróleo básicamente busca transformar hidrocarburos resultantes de la unidad de FCC (butenos lineales, isobuteno, butano e isobutano) en una compleja mezcla de alcanos ramificados, que se lo denomina como alquilado, que se caracteriza por su elevado número de octanos, su baja presión de vapor, y ausencia de aromáticos, alquenos ni azufre. Estas características hacen que este proceso sea de gran utilidad al momento de mezclar con la gasolina con el objetivo de cumplir regulaciones que son cada vez más exigente en relación con el contenido de azufre, olefinas, aromáticos y oxígeno (Dalla Costa , 2011).

- **Craqueo Térmico**

El craqueo térmico en general es el proceso mediante el que se somete a los combustibles pesados a una presión y calor intensos mediante un horno, causando así una desintegración física de sus grandes moléculas en otras más pequeñas, con lo que se obtiene productos más livianos y de mayor valor económico. Este proceso se esquematiza en la Figura 2, donde se observa la interacción de tres variables: la temperatura, el tiempo de residencia y la carga; de acuerdo con la variación de estas se obtendrá diferentes productos que bien pueden ser finales o insumos para otros procesos de refinación de derivados de petróleo (Sadrameli, 2016).

Figura 2.

Esquema de un horno típico de craqueo a vapor



Nota. Tomado de “Thermal/catalytic cracking of liquid hydrocarbons for the production of olefins: A state-of-the-art review II: Catalytic cracking review” (p. 3), por Sadrameli, 2016.

1.5.2. Demanda

La demanda se puede definir como la necesidad que presenta un consumidor para adquirir un bien o servicio. "...es la estimación razonada de las posibilidades cuantitativas de ventas de un producto o de un servicio para un periodo determinado y para una clientela, determinada" (Rivera Camino & de Garcillán López-Rua, 2012).

Kotler (2001) define a la demanda para un producto como "...el volumen total que adquiriría un grupo de clientes definido, en un área geográfica definida, dentro de un período definido, en un ambiente o ámbito de mercadotecnia definido, bajo un programa de mercadotecnia definido" (p.45). Además, añade que se debe tener la habilidad para medir y pronosticar: el tamaño, crecimiento y la utilidad potencial; de ella dependerá la demanda del producto.

Se identifica que es necesario realizar un estudio de mercado que pronostique la viabilidad del producto o servicio. Una vez establecido ese mercado será idóneo realizar la proyección de la demanda. Que deberá dirigirse a su población con parámetros definidos; ya que de ellos depende el control y evaluación de eficiencia del producto en el mercado meta. (Kotler, 2001)

Hamilton & Pezo (2005) añaden al concepto de Kotler que, la demanda será definida por la cantidad de unidades que podrá comercializar el proyecto; ya que es necesario conocer el comportamiento de los consumidores e incluso sus expectativas, recalcando nuevamente la importancia de realizar un estudio de mercado. (p. 47)

El mercado se define como "Conjunto de todos los compradores reales y potenciales de un producto" (Kotler, 2001, p. 31). Es importante delimitar su tamaño; que dependerá del número de compradores; y las características de los compradores potenciales; como Interés, ingresos y acceso; este último relacionado a las barreras de acceso que reducen el mercado como las normas que establece un gobierno. En la Tabla 2 se detalla los tipos de mercados que se sugiere cuantificar.

Respecto al consumo de energía doméstico, es fundamental determinar la demanda de este recurso estratégico; en un estudio sobre la demanda energética mensual de la provincia de Santa Elena, (Pavón & Barzola, 2015) exponen lo siguiente: "En el dimensionamiento óptimo de una micro red es de mucha importancia identificar en el lugar de estudio y la demanda de consumo energético mensual de las familias."

Tabla 2.

Mercados a cuantificarse

Mercado potencial	Mercado disponible	Mercado Meta	Mercado de Incursión
Conjunto de clientes que manifiesta un grado suficiente de interés en una oferta.	Conjunto de consumidores que tienen interés, ingresos y acceso a una oferta de mercado específica.	Parte del mercado disponible calificado que la empresa ha decidido captar.	Conjunto de consumidores que ya han comprado el producto.

Nota. Tabla Adaptada de “Dirección de Mercadotecnia” (p. 37), por P. Kotler, 2001.

1.5.2.1. Tipos de Demanda

En general se posiciona al cliente como el eslabón principal en el proceso de determinar la necesidad productiva en la red de suministro. De acuerdo con Escobar (2013) en su trabajo sobre un rediseño de una red de distribución, categoriza la demanda de la siguiente manera:

- Demanda determinística estática: se refiere a una demanda que es fácilmente predecible por su certeza en su magnitud y como característica principal de ser constante en el tiempo.
- Demanda determinística variable: tiene un comportamiento similar a la estática, con la diferencia que tiene una variación regular en el tiempo.
- Demanda incierta: se la denomina de esta forma cuando no puede ser estimada debido a la complejidad de las variables que la afectan, así como la incapacidad de estimar sus valores a futuro con certeza. En este caso se puede utilizar valores históricos que permitan obtener un patrón de comportamiento estimado.
- Demanda desconocida: en este tipo, no se conoce ningún valor de la demanda que se pretende valorizar, en este caso se tendrá que realizar estimaciones sobre las variables que afectan o sobre la demanda en si para posteriormente obtener datos, actualizar y si es necesario corregir de acuerdo con la observación real del comportamiento.

1.5.2.2. Pronóstico de la demanda

El pronóstico de la demanda es fundamental en la planificación, análisis y posible optimización en una red de distribución a futuro. En los procesos en los que el cliente determina la demanda, es decir existe un comportamiento *pull*, la producción debe tener la capacidad de reacción y preparación para una demanda futura, que se puede realizar a través de un pronóstico que considera los correctos parámetros, Chopra & Meindl (2013) señalan: “Para los procesos de tirón, el gerente debe planear el nivel de capacidad e inventario disponibles, pero no la cantidad real que se ejecutará. En ambos casos el primer paso que el gerente debe tomar es pronosticar cuál será la demanda del cliente” (p.178), es decir que el pronóstico de la demanda puede tener un efecto directo en las consideraciones de capacidad e inventario.

El pronóstico de la demanda requiere por lo tanto una amplia comunicación entre los eslabones de la red, el flujo de información entre el abastecimiento y la distribución es primordial considerando que presenta una ventaja al permitir realizar acciones coordinadas, así como conocer la demanda exacta entre eslabones. (Vásquez, 2014) señala: “En el pasado, casi no se compartía información entre mayoristas y minoristas, cada uno realizaba su propio pronóstico de demanda y se ocultaba a los demás actores de la cadena como un secreto que le permitía ser más competitivo” (p. 21).

Esto causaba que se generen una serie de pronósticos a todo nivel, es decir se tenía un pronóstico del proveedor inicial, a su vez el mayorista tenía su propio pronóstico, lo mismo que el minorista; pero, finalmente, era el consumidor el que tenía la verdad sobre la cantidad que compraría de cada producto. El flujo de información permitió determinar demandas concordantes en todos los eslabones que permitió ganar competitividad y disminuir inventarios, así como una disminución en los costos de reproceso de información, de ensamble, embalaje y transporte (Vásquez, 2014).

El pronóstico más acertado a una posible demanda y la cooperación entre los eslabones de una red de distribución es una realidad cada vez más necesaria. Se están estableciendo alianzas estratégicas que comprometen a las empresas a compartir información entre los nodos sobre la demanda y los inventarios para preparar mejor el abastecimiento de su cadena de abastecimiento.

Sin embargo, para poder realizar un pronóstico acertado, también se requiere elegir un método correcto que se ajuste del comportamiento de la demanda (creciente, decreciente, patrones estacionales, etc.)

1.5.2.3. Pronóstico con Suavizado exponencial (Brown, Holt y Winters)

El pronóstico mediante suavizado exponencial es uno de los métodos más utilizados para predecir comportamientos futuros en la demanda, tiene una ventaja importante considerando que no necesita de gran volumen de datos históricos de la demanda y se alinea de mejor forma a comportamientos anteriores por su ajuste exponencial, referente a su base teórica (Paredes Roldán, 2001) enuncia: “La demanda de los períodos más recientes recibe un peso mayor; los pesos de los períodos sucesivamente anteriores decaen de una manera no lineal (exponencial)”.

La desventaja que presentaba el modelo inicial presentado por Brown a finales de 1950 era que no existía un ajuste por tendencia, es así como el método de Charles Holt en 1957 consigue prever una tendencia con anterioridad mediante el ajuste a través de dos constantes de suavización, pero no se considera la existencia de estacionalidad.

Finalmente se desarrolla el Método Holt – Winters que considera un patrón adicional de comportamiento de tipo estacional en la serie de tiempo, es decir se incluyó un componente más en el cálculo en el modelo que desarrollo Holt. Este método es ampliamente utilizado considerando que incluye para el pronóstico de una serie de tiempo la aleatoriedad, estacionalidad y tendencia (Alarcón, 2009).

1.5.3. Cadena de Suministro

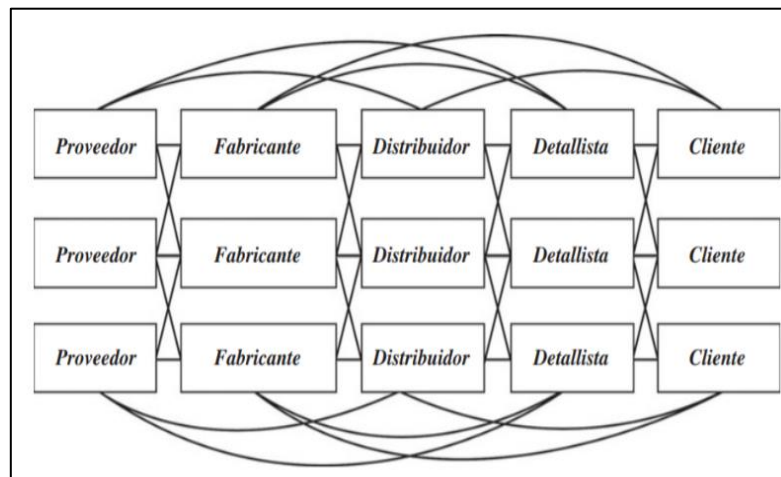
La cadena de suministro son todos los actores y procesos que intervienen de forma directa o indirecta en proporcionar bienes o servicios al cliente con una satisfacción total. Es decir, en la cadena se incluye “...no sólo al fabricante y los proveedores, sino también a los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle (menudeo), e incluso a los clientes mismos” (Chopra & Meindl, 2013).

Se suele previsualizar la cadena de suministro como el movimiento de un producto a lo largo de una línea conectada entre proveedores, fabricantes, distribuidores y finalmente al

cliente, sin embargo, esto representa solo una parte de la cadena de suministro, es sumamente necesario considerar los flujos de información que suceden en los dos sentidos de la cadena, así como los varios actores involucrados en los procesos. En los procesos de distribución de los bienes y servicios en general se puede observar que existen varios proveedores abasteciendo algunos fabricantes y a su vez estos fabricantes abasteciendo a varios distribuidores y en sí se puede observar que se forma una red que se puede conceptualizar como una red de suministro.

Figura 3.

Etapas de una cadena de suministro.



Nota. El grafico muestra las relaciones posibles entre actores de la cadena de suministro. Tomado de "Administración de la Cadena de Suministro" (p. 3), por S. Chopra & P. Meindl, 2013, Pearson Educación.

Como se visualiza en la Figura 3, la cadena de suministro también puede ser entendida como una red interconectada o una tubería por la que fluyen los bienes; a lo largo de los diferentes tramos se podrá tener diferentes diámetros o longitudes que de cierta forma representan las capacidades de transporte del sistema, a su vez estas tuberías estarían conectadas a lo que se podría ver como tanques, que representan en sí los sitios que están destinados almacenar los bienes en distintas locaciones y que pueden tener diferentes capacidades así como ser representativos en diferentes eslabones de cadena de suministro (Slack, Brandon Jones, & Johnston, 2013).

De acuerdo con la administración de una cadena de suministro planteada por Chopra & Meindl, existen 3 fases de decisión en una cadena de suministro: la primera es la estrategia

o diseño de la cadena de suministro, se decide cómo se asignarán los recursos e instalaciones, y qué procesos se ejecutarán en los siguientes años. Se toman decisiones como la subcontratación de funciones o la manufactura in house, se establece en base a la demanda, la ubicación y la capacidad de producción y almacenamiento de las instalaciones necesarias, Los medios de transporte hacer usados y el tipo de sistema de información. (Chopra & Meindl, 2013)

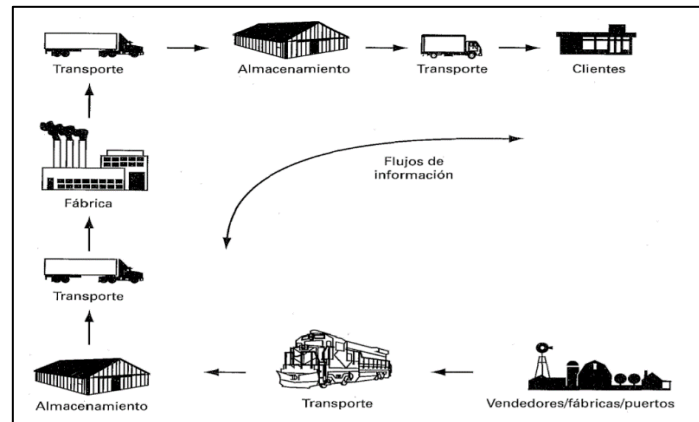
La segunda fase corresponde a la planeación de la cadena de suministro, en esta fase el lapso es de un trimestre a un año, por lo tanto, la configuración establecida se mantendrá fija, es decir se define las restricciones en las que se enmarca la planeación, el objetivo es maximizar el superávit de la cadena. Esta fase puede involucrar decisiones con respecto a qué mercados van a ser abastecidos y desde qué lugares, se puede analizar la subcontratación de fabricación, las políticas de inventario, así como las estrategias de comercialización y precios. (Chopra & Meindl, 2013)

En la tercera fase se contempla un horizonte de tiempo semanal o diario, la configuración de la cadena de suministro está fija y las prácticas de la planeación están definidas. Se enfocan las decisiones en dar una mejor atención los pedidos entrantes por los clientes, es decir, en esta fase se deberá asignar inventario y producción a pedidos de forma individual, se fijarán las fechas en las que los pedidos deben ser culminados y se generarán listas de selección de los almacenes, así como programas de entrega y pedidos de reabastecimiento. “Dadas las restricciones establecidas por la configuración y políticas de planeación, la meta durante la fase de operación es explotar la reducción de la incertidumbre y optimizar el desempeño” (Chopra & Meindl, 2013).

Existe una estrecha relación entre el concepto de logística y la cadena de suministro, de acuerdo a (Ballou, 2004) son: “...un conjunto de actividades funcionales (transporte, control de inventarios, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor” (p.7). En la Figura 4 se detalla una cadena general de suministro y evidencia una situación real en la distribución de productos; los fabricantes, proveedores y distribuidores casi nunca están ubicados en una misma locación, por lo tanto, la administración de la logística en los diferentes eslabones de la cadena de suministro es sumamente importante.

Figura 4.

Cadena de suministros inmediata para una empresa individual



Nota. Tomado de “Logística, Administración de la cadena de suministro” (p. 8), por R. Ballou, 2004, Pearson Educación.

La logística se basa en actividades que varían dependiendo de cada empresa es decir podrán ser particulares para su estructura, filosofía, administración de sus procesos, enfoque en el cliente o específicas para un eslabón en la cadena; las actividades se dividen en clave y de apoyo, detalladas en las Tablas 3 y 4, respectivamente.

Tabla 3.

Actividades Clave en Logística

Actividades Clave	
Servicio al cliente en cooperación con marketing	Determinar las necesidades y requerimientos del cliente para la logística Determinar la respuesta del cliente al servicio Fijar los niveles de servicio al cliente
Transporte	Selección del modo y servicio de transporte Rutas del transportador Programación de los vehículos
Manejo de inventarios	Políticas de almacenamiento de materias primas y bienes terminados Estimación de ventas Número, tamaño y localización de los puntos de almacenamiento Estrategias a tiempo, de sistema push y de sistema pull
Flujos de información y procesamiento de pedidos	Procedimientos de la interfaz pedidos de venta-inventarios Métodos de transmisión de información de pedidos Reglas de pedido

Nota. Adaptado de “Logística, Administración de la cadena de suministro” (p. 11), por R. Ballou, 2004, Pearson Educación.

Tabla 4.

Actividades de Apoyo en Logística

Actividades de Apoyo	
Almacenamiento	Determinación de espacios Distribución de las existencias y diseño de punto para descarga Configuración del almacén Colocación de las existencias
Manejo de materiales	Selección del equipo Procedimientos de levantamiento de pedidos Almacenamiento y recuperación de existencias
Compras	Selección de la fuente de suministros Momento correcto para comprar Cantidades para comprar
Embalaje de protección	Manejo Almacenamiento Protección por pérdida y daños
Cooperación con producción y operaciones	Especificar cantidades adicionales Secuencia y rendimiento del tiempo de producción Programación de suministros para producción y operaciones
Mantenimiento de información	Recopilación, almacenamiento, manipulación de la información y Análisis de datos Procedimientos de control

Nota. Adaptado de “Logística, Administración de la cadena de suministro” (p. 11), por R. Ballou, 2004, Pearson Educación.

1.5.4. Almacenamiento

(Serrano Escudero, 2014) define al almacenamiento: “...ubicar la mercadería en la zona más idónea de un almacén, con el fin de poder acceder a ella y localizarla fácilmente. Para ello se utilizan medios de transporte interno ... y medios fijos como estanterías, depósitos, instalaciones, soportes, etc.” (p.18). Sin embargo, la definición de (Vásquez, 2014) complementa: “...consiste en darle una ubicación en el lugar destinado a la mercancía recibida, con el fin de asegurar la conservación en condiciones óptimas de calidad y cantidad, así como facilitar el despacho de pedidos eficientemente.” (p. 64)

Por lo tanto, la operación de almacenamiento termina siendo un pilar fundamental en el desempeño de la cadena de suministro o red de distribución, se trata no solo de ubicar los productos e insumos en un sitio, se trata de garantizar su calidad, cantidad y seguridad al momento de almacenarlos y a su vez el orden nos permitirá garantizar aspectos como la respuesta efectiva al consumidor y el nivel de servicio requerido.

Para poder dar una gestión correcta al almacenamiento, es necesario conocer su clasificación, Escudero (2014) propone una clasificación de los almacenes por diferentes características que son detalladas en la Tabla 5.

Tabla 5.

Clasificación de Almacenes

Estructura o construcción	Actividad de la empresa	Función logística
Almacenes a cielo abierto	Empresa Comercial: almacén de mercancías	Plataformas logísticas o almacenes centrales.
Almacenes cubiertos	Empresa Industrial: almacén de materias primas y auxiliares y almacén de productos terminados.	Almacenes de tránsito o de consolidación Almacenes regionales o de zona y locales.

Nota. En la tabla se expone criterios bajo los que se puede clasificar los almacenes. Adaptado de “Logística de Almacenamiento” (p. 19), por J. Serrano Escudero, 2014, Paraninfo S. A.

Una vez identificado el espacio de almacenamiento que la empresa necesita según diferentes variables, Arrieta (2011) recomienda “...evaluar el funcionamiento del centro de distribución...la calidad y exactitud en el inventario... la rotación de la mercancía y los costos de almacenamiento” (p. 1).

Adicionalmente el autor cita a Marín (2001) quien menciona que “...Para que un almacén adquiera un nivel competitivo debe ser visto no como el lugar donde permanecen las mercancías, sino como un centro de distribución y consolidación de productos en donde se realizan labores mucho más complejas y de mayor responsabilidad sobre el producto final”. (p.5)

La importancia del presente tema recae en la óptima selección del tipo de almacén que necesitará mi producto, dando un plus importante al almacenamiento que pasa de ser un lugar físico a ser un centro de distribución, en donde el éxito de este dependerá de la buena gestión de los recursos, espacio y procesos que deberán estar en continuo seguimiento y evaluación, este último en base a indicadores de gestión. Los resultados obtenidos reflejan lineamientos acertados o por mejorar dentro del proceso de almacenamiento.

1.5.5. Inventarios

El inventario en general se lo puede definir cómo la cantidad: insumos, productos elaborados o productos semielaborados disponibles en un sitio de almacenamiento. El inventario está estrechamente relacionado con la demanda, se considera a un inventario agotado, cuando existe una demanda mayor al volumen disponible más su aprovisionamiento, es decir, un déficit que no permite satisfacer a la demanda en el momento requerido, en la situación contraria, al existir un stock disponible y un aprovisionamiento que no son liberados por la actual demanda, se produce el inventario en exceso (Zapata Cortes, 2014).

Respecto al Control de Inventarios, Zapata (2014) menciona: "...busca mantener disponible los productos que se requieren para la empresa y para los clientes, por lo que implica la coordinación de las áreas de compras, manufactura distribución" (p. 11)

La motivación fundamental para realizar un adecuado control de inventarios es la demanda en sí; se trata de detectar sus fluctuaciones aleatorias, así como los tiempos de reposición oportunos con el fin de disminuir la diferencia generada entre la demanda de los consumidores y la producción. Se puede encontrar soluciones a este desfase mediante la aplicación de estrategias de control de inventario, (Vidal Holguín, 2010) propone las siguientes estrategias:

- a) Insumo de información, se puede enfocar en la adquisición de información precisa y en tiempo real del sector de consumo, mientras mayor y oportuna cantidad se posea, permitirá una planificación más acertada. Vidal (2010), expone: "...podría decirse que el problema de planeación de demanda y control de inventarios es básicamente un problema de información en la cadena de abastecimiento" (p. 16).
- b) Disminuir variabilidad en la demanda, se puede optar por consolidar los centros de distribución y bodegas, es decir, se puede lograr un aumento en la demanda en cada instalación lo que en general disminuye la variabilidad de esta.
- c) Aplicar el principio de posposición de forma del producto, se trata de otorgar las características finales de un producto al momento de recibir las ordenes de un cliente, se requiere una estandarización de los productos base que evite el mantenimiento de

inventarios de varios ítems que varían en aspectos menores como forma, color, condición, etc.

- d) Mejorar sistemas de pronóstico de demanda, mediante el uso de métodos o técnicas estadísticas que sean reconocidas en su aplicación de acuerdo con el contexto o estudio que se está realizando y su posible combinación con otras estrategias de pronóstico.
- e) Procesos colaborativos en la cadena de abastecimiento, se trata de desarrollar mejores alianzas y sistemas de comunicación tanto con proveedores como con los clientes, con el fin de obtener una reducción en los tiempos de reposición.
- f) Aplicar el principio de posposición de tiempo, que implica evitar mantener los productos en inventario mediante el paso directo desde la sección de recepción de un centro de distribución hacia la zona de despacho en un tiempo limitado utilizando emisión de órdenes conjuntas para diversos ítems con el fin de equilibrar el inventario y la consolidación de despachos.
- g) Reducción de demoras y tiempos de reposición, se trata de identificar las demoras y las posibilidades de disminuir su magnitud en la cadena de suministro; es necesario considerar que, en estos tiempos, está incluido los tiempos de tránsito en los sistemas de transporte.

Para (Vásquez, 2014), las condiciones actuales de mercado han redefinido los conceptos y la gestión de los inventarios per se; se ha dado una concientización de los costos que involucra a una empresa el inventario, ahora para las empresas es inaceptable mantener costos excesivos en mantenimiento de inventarios, se enfatisa en realizar una planificación acertada, con el objetivo de una vez recibidos los insumos, productos elaborados o productos semielaborados, inmediatamente proceder a trasladarlos al siguiente eslabón en la red de distribución o entregarlo lo antes posibles al consumidor final.

Sobre el control de inventarios, Vásquez (2014) menciona: “El aspecto más importante que llevó a las empresas a interesarse por el estricto control de inventarios es el ciclo de caja” (p. 24). Una empresa para su correcto desempeño requiere mantener un capital de trabajo que financie su operación utilizando recursos propios, esto se logra mediante una liquidez alcanzada mediante un adecuado flujo de caja.

En el desempeño de la liquidez de las empresas se ha evidenciado que está en la relación estrecha entre el ciclo de inventarios y el ciclo de caja, es decir si una empresa presenta un ciclo de inventario (compra-producción-almacenamiento-distribución) más largo y por un tiempo más prolongado, requerirá una mayor inversión en inventarios. Vásquez (2014) afirma: "...cualquier acción que contribuya a disminuir el ciclo de inventarios a través de racionalización en compras, eficiencia en producción, pronósticos de ventas y rotación de inventarios, mejorará proporcionalmente el ciclo de caja y la liquidez de la empresa" (p. 24).

La evolución del concepto de inventarios y de su gestión ha logrado cuestionar las decisiones empresariales respecto los niveles de inventario que, en el caso de ser muy altos, tienen efectos sobre las acciones comerciales y las decisiones de precios que terminan por sacrificar la rentabilidad, es decir se busca disminuir el nivel de inventarios a través de promociones y descuentos en los precios con el fin de reactivar la demanda de estos productos y deshacerse de ellos. La evolución del inventario significa la comunicación eficiente entre eslabones que permite el conocimiento de la demanda real y lograr un cambio en el sistema común de *push* por el sistema *pull* (Vásquez, 2014).

1.5.6. Optimización de la Red

En la optimización de la red de distribución requiere una fase inicial de diseño, que considera el número, locación y capacidad de centros de distribución y el flujo de bienes o servicios requeridos para un proceso de abastecimiento. En una fase posterior teniendo datos del comportamiento inicial se procede a la optimización de la red de distribución, en esta fase se toma decisiones sobre la relocalización, extensión de capacidad o reducción de los centros, así como la creación de nuevos, realizando una planificación de su necesaria locación y capacidad. Es imperativo en el rediseño de la red considerar los antiguos, consolidados y nuevos centros de distribución. (Farhad & Hamid, 2012)

El diseño de una red de distribución actualmente es fundamental en toda empresa y sector que requiere el transporte, abastecimiento o distribución de elementos. Es una fase inicial en la que se toman decisiones sobre la configuración de la red de distribución, así como de los medios de almacenamiento y logísticos para la satisfacción del consumidor final.

(Chopra & Meindl, 2013) señalan:

Las decisiones estratégicas tomadas por las compañías incluyen subcontratar una función de la cadena de suministro o realizarla en casa, la ubicación y capacidades de producción e instalaciones de almacenamiento, los productos que se van a fabricar o almacenar en varios lugares, los modos de transporte que se pondrán a disposición a lo largo de diferentes tramos de embarque, y el tipo de sistema de información que se utilizará.

En el estudio *Facility location models for distribution system design*, (Klose & Drexl, 2005), proponen:

...la capacidad de fabricar y comercializar sus productos depende en parte de la ubicación de las instalaciones. De manera similar, las agencias gubernamentales tienen que decidir sobre la ubicación de las oficinas, escuelas, hospitales, estaciones de bomberos, etc. En todos los casos, la calidad de los servicios depende de la ubicación de las instalaciones en relación con otras instalaciones.

En el estudio *Stochastic programming approach to re-designing a warehouse network under uncertainty*, se establece que existe dos aspectos que son importantes al momento de diferenciar una optimización de la red de un diseño inicial: el primer aspecto está enfocado en los centros ya existentes, cualquier cambio en lo existente implica una inversión de capital considerable que afecta la eficiencia del proceso; y segundo, una optimización necesita una aplicación gradual, con el objetivo de que los cambios en las facilidades no interrumpan las operaciones normales o abastecimiento. (Farhad & Hamid, 2012)

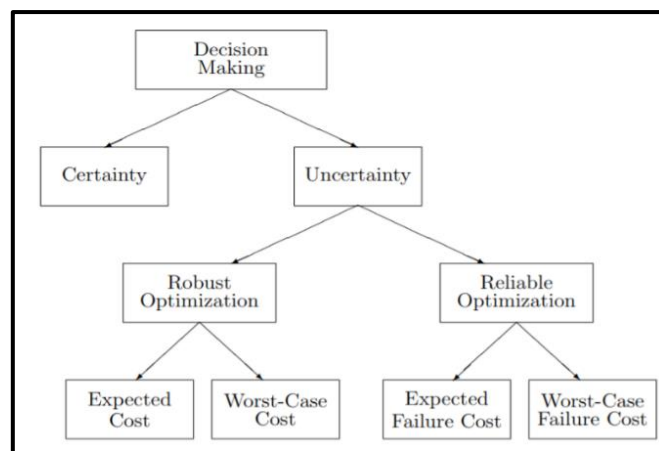
Snyder (2003) en su trabajo *Supply Chain Robustness and Reliability* realiza una comparativa entre el concepto de optimización robusta que en general se la define como: "...encontrar soluciones que funcionen bien en cada realización de los parámetros inciertos, aunque no necesariamente de manera óptima en ninguno." (p. 2) El modelo subyacente de este concepto es una unión entre el modelo de locación y de inventario, que en general contempla aspectos como son: la ubicación de centros de distribución, asignaciones de minoritas a los centros y niveles de inventarios correspondientes a un tiempo inicial.

El modelo de optimización robusta que se visualiza en la Figura 5, normalmente contempla escenarios con parámetros inciertos pero que pueden ser: discretos, es decir que los

escenarios planteados proveen una descripción completa de los parametros y una probabilidad de que suceda cada escenario; o continuos, que consideran una rango de valores que podría tomar cada parametro. Estos modelos en su ejecución involucra una multiplicación del escenario seleccionado, por los lapsos de tiempo y en su desarrollo no se considera una variable que suele ser inevitable, que son las fallas en un sistema. (Snyder, 2003)

Figura 5.

Taxonomía de la toma de decisiones



Nota. Tomado de “*Supply Chain Robustness and Reliability: Models and Algorithms*” (p. 10), por L. Snyder, 2003, *Northwestern University*.

Respecto al concepto mencionado por Snyder, *Reliable Optimization*, se trata de un concepto relativamente nuevo y que comprende una manera de hallar soluciones que permitan el funcionamiento del sistema aun cuando exista fallas. Los modelos de optimización robustos están enfocados en la incertidumbre de la demanda, costos o aspectos inherentes a la distribución de los bienes o servicios a los clientes por la empresa, mientras que la confiabilidad está en el lado de la oferta, es decir la disponibilidad de las plantas, centros de distribución o toda instalación que en si facilite la distribución de los bienes y servicios.

1.5.7. Identificación del tipo de red de distribución

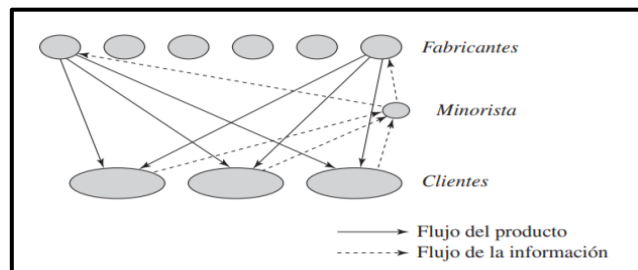
Los tipos de redes están en función de la relación que existe en la distribución desde el fabricante hasta el consumidor final. Se identifican los siguientes tipos de red:

1.5.7.1. Almacenamiento con el fabricante con envío directo

Consiste en una red que obtiene la información de la demanda del cliente a través del minorista, este informa a la fábrica y se distribuye directamente desde esta al consumidor final (Chopra & Meindl, 2013). Se visualiza dicha estructura en la Figura 6.

Figura 6.

Almacenamiento con el fabricante con envío directo



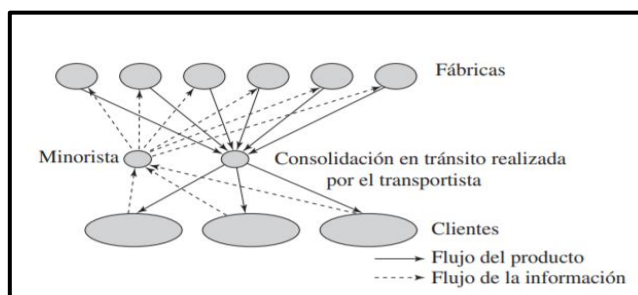
Nota. Tomado de "Administración de la Cadena de Suministro" (p. 73), S. Chopra & P. Meindl, 2013, Pearson Educación.

1.5.7.2. Almacenamiento con el fabricante con envío directo y consolidación en tránsito

En esta red existe centros logísticos que acumulan o consolidan partes de un pedido y lo entregan en un solo producto, la demanda es informada a través del minorista (Chopra & Meindl, 2013). Se visualiza dicha estructura en la Figura 7.

Figura 7.

Almacenamiento con el fabricante con envío directo y consolidación en tránsito



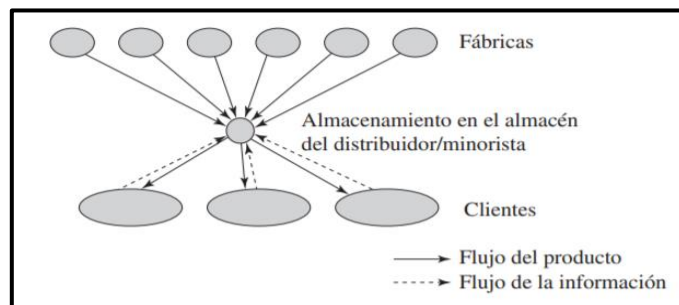
Nota. Tomado de "Administración de la Cadena de Suministro" (p. 76 S. Chopra & P. Meindl, 2013, Pearson Educación.

Almacenamiento con el distribuidor con entrega por mensajería

Consiste en una red que almacena los productos en las instalaciones intermedias o en la infraestructura del minorista y una empresa de mensajería externa se encarga de su distribución. (Chopra & Meindl, 2013). Se visualiza dicha estructura en la Figura 8.

Figura 8.

Almacenamiento con el distribuidor con entrega por mensajería



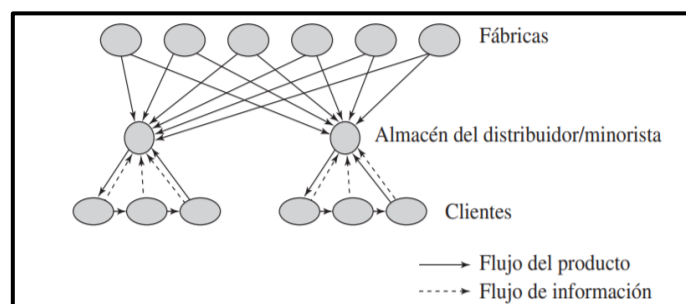
Nota. Tomado de “Administración de la Cadena de Suministro” (p. 78 S. Chopra & P. Meindl, 2013, Pearson Educación).

1.5.7.3. Almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio

Inicia en la producción de las fábricas, los productos se almacenan en la infraestructura de los distribuidores, o intermediarios y se procede al envío a los hacia los consumidores finales (Chopra & Meindl, 2013). Se visualiza dicha estructura en la Figura 9.

Figura 9.

Almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio



Nota. Tomado de “Administración de la Cadena de Suministro” (p. 76), por S. Chopra & P. Meindl, 2013, Pearson Educación.

1.5.8. Programación Lineal

La programación matemática a nivel general se ha convertido en una potente herramienta para el modelado de los problemas y los procesos de toma de decisiones. Se trata de ir ejecutando una serie de fases que en conjunto permiten la optimización. La primera fase consiste en identificar las decisiones que pueden ser tomadas, esto permite reconocer las variables que posiblemente son la causa del problema (Castillo, Conejo, Alguacil, Pedregal, & García, 2002).

La segunda etapa está enfocada en determinar decisiones permitidas bajo las restricciones establecidas de acuerdo con la naturaleza del problema y finalmente la tercera etapa (Castillo, Conejo, Alguacil, Pedregal, & García, 2002) la describen: “En la tercera etapa, se calcula el coste/beneficio asociado a cada decisión admisible; esto supone determinar una función objetivo que asigna, a cada conjunto posible de valores para las variables que determinan una decisión, un valor de coste/beneficio.” (p. 3)

La programación lineal en su sentido gramatical lleva su nombre debido a que las funciones que rigen el modelo matemático deben ser lineales y la programación está enfocada hacia la planeación, es decir de acuerdo a (Hillier & Lieberman, 2010) se trata de: “...la planeación de actividades para obtener un resultado óptimo; esto es, el resultado que mejor alcance la meta especificada — de acuerdo con el modelo matemático — entre todas las alternativas factibles” (p. 21).

Desde el planteamiento de operaciones, se trata de un problema en el que se requiere una solución óptima, es decir se trata de la elección del nivel de ciertas actividades o procesos que comparten recursos limitados que son necesarios para ejecutarlas, el objetivo es determinar la cantidad de recursos óptima que necesitará en cada una de ellas. Evidentemente, es un problema recurrente en todas las industrias y en varias actividades y negocios, (Hillier & Lieberman, 2010) mencionan: “...abarca desde la asignación de instalaciones de producción a los productos hasta la asignación de los recursos nacionales a las necesidades de un país; desde la selección de una cartera de inversiones hasta la selección de los patrones de envío...” (p. 21). En sus varias aplicaciones se encuentra el patrón común que significa encontrar la asignación correcta de recursos para las actividades dependiendo de la elección de su nivel.

En el estudio sobre la programación lineal y su aplicación a las pequeñas y medianas empresas, Alvarado (2009) define a la programación lineal en términos generales:

“...se puede decir que cualquier fenómeno en que interviene un número determinado de variables no negativas (es decir, variables cuyo valor es positivo o cero), que se pueden ligar entre sí mediante relaciones de desigualdad o igualdad y que reflejen las limitaciones o restricciones que el fenómeno presenta con miras a optimizar un objetivo, puede ser formulado como un modelo de programación matemática. Si tanto las restricciones como la función objetivo se pueden enunciar mediante expresiones lineales, estamos frente a un campo particular de la programación matemática denominada programación lineal”

La programación lineal está compuesta por 4 componentes fundamentales que son necesarios identificar: El conjunto de datos, las variables que intervienen en el problema, las restricciones del problema que permiten definir las soluciones posibles y la función lineal objetivo a minimizar o maximizar (Castillo, Conejo, Alguacil, Pedregal, & García, 2002).

1.5.8.1. Función objetivo

En forma general se puede resumir a la programación lineal como el método matemático de resolución de problemas que tienen por objetivo optimizar (maximizar o minimizar) una función conocida como objetivo, conociendo un conjunto de restricciones referentes a disponibilidad de recursos, u otras condicionantes que establezcan un límite en la operación, la función objetivo se obtiene mediante la Ecuación 1.

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad (1)$$

Donde:

Z = Función objetivo lineal.

C_j = son los coeficientes de costo (conocidos) o de ingresos, según el tipo de problema que se esté resolviendo

X_j = son las variables de decisión (variables, o niveles de actividad) que deben determinarse de tal manera que se alcance el objetivo dentro de las restricciones que enfrenta el problema.

1.5.8.2. Restricciones o desigualdades

Las restricciones pueden ser de tres tipos: “mayor que” (\geq), “menor que” (\leq) o de igualdad ($=$), expresadas mediante desigualdades lineales. Están compuestas por los coeficientes técnicos (A_{ij}), las actividades o procesos (X_n) y además los niveles o limitaciones (B_i). El conjunto de restricciones se puede expresar conforme a la Ecuación 2.

$$A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n \leq B_1 \quad (2)$$

Alvarado Boirivant (2009) afirma que las restricciones se las puede clasificar de acuerdo a su naturaleza. En la Tabla 6 se detalla su clasificación.

Tabla 6.

Clasificación de las restricciones

Restricciones de recursos	Restricciones externas	Restricciones subjetivas
Consisten en la posesión de recursos como terreno, capital, mano de obra e instalaciones.	Aquellas que están afectadas por un factor externo como el gobierno, crédito, obligaciones de tipo legal, etc. que afectan finalmente a la asignación de recursos en un problema.	Restricciones inherentes a los propios objetivos personales o del negocio del planeador, los límites pueden ser difíciles de definir, pero frecuentemente son reales y significativos en el proceso.

Nota. Tomado de “Programación Lineal Aplicación de las Pequeñas y Medianas Empresas” (p. 89), por J. Alvarado Boirivant, 2009, Reflexiones.

1.5.9. Ruta más Corta

El método de la ruta más corta es un método de programación lineal para la solución de optimización de redes, que se encuentra fundamentado en el algoritmo de Dijkstra, el método busca obtener una ruta con un costo mínimo entre un nodo de inicio y un nodo de finalización, en este caso la minimización está enfocada en encontrar la distancia mínima posible de recorrido. (Rocha González, Gómez Triana, & Sánchez Caimán, 2014)

El algoritmo de Dijkstra fue desarrollado por Edsger Wybe Dijkstra en 1959 y se fundamenta en el principio de optimalidad del camino más corto. Sánchez Torrubia & Lozano Terrazas plantean referente a las aplicaciones del algoritmo en la determinación de caminos

minimos: “Dado un conjunto de descripciones de operadores y conectores, unos parámetros de optimización (que el usuario queda encargado de introducir) y una serie de requisitos, el sistema se encargará de encontrar un camino óptimo...” (Sánchez Torrubia & Lozano Terrazas, 1995).

En lo referente a las optimizaciones en una de red, (Rocha González, Gómez Triana, & Sánchez Caimán, 2014) proponen:

“El problema SPP requiere para su desarrollo la construcción de una matriz que represente la conexión y longitud desde un nodo inicial hasta los nodos vecinos vinculados de forma directa, lo cual se logra en este estudio mediante la consolidación de una matriz de distancia...”

1.5.10. Indicadores de Desempeño de la Red de Distribución

1.5.10.1. Instalaciones

Los indicadores referentes a la instalación son de suma importancia, considerando que tienen un impacto directo en el desempeño económico, eficiencia y capacidad de respuesta al cliente. (Chopra & Meindl, 2013)

- Capacidad: es el número máximo de unidades que puede procesar la instalación.
- Utilización: mide la fracción de la capacidad que está en operación en la instalación.
- Tiempo de procesamiento/preparación/inactividad/ocioso: se mide la parte del tiempo en el que se estuvo procesando unidades, en preparación para procesar unidades, no disponible porque estaba inactiva, u ociosa porque no había unidades que procesar.
- Costo de producción por unidad: es el costo promedio de producir una unidad.
- Pérdidas de calidad miden que parte de la producción se perdió por defectos, tienen un efecto directo en el desempeño financiero y la capacidad de respuesta.
- Tiempo teórico de flujo/ciclo de producción: comprende el tiempo en el que se procesa una unidad sin retrasos en ninguna etapa.
- Tiempo de flujo/ciclo real promedio: es el tiempo real promedio que toma procesar todas las unidades en un tiempo establecido (día, semana, mes, etc.), se incluye cualquier retraso. Esta métrica debe utilizarse cuando se establezcan los tiempos de entrega de los pedidos.

- Variedad del producto: es la cantidad de productos o familias de productos que se procesan en una instalación.
- Tamaño de lote de producción promedio: corresponde a la cantidad promedio producida en cada lote.
- Nivel de servicio de producción: es la fracción de las órdenes de producción terminadas a tiempo y completas.

Estos indicadores permiten encontrar un equilibrio entre la capacidad de respuesta y la eficiencia del sistema, representan una herramienta en la toma de decisiones respecto a la ubicación, capacidad y tipo de instalaciones, y el nivel de capacidad de respuesta que se puede ofrecer al cliente. (Chopra & Meindl, 2013)

1.5.10.2. Transporte

El transporte es uno de los aspectos más importantes en la red de distribución considerando que es el medio por el cual los insumos o el producto final llegan al consumidor final (Chopra & Meindl, 2013), los principales son los siguientes:

- Tamaño promedio de envío entrante: son en promedio el número de unidades o dinero en cada envío que llega a una instalación.
- Costo promedio de transporte entrante por envío: es el costo de transporte entrante promedio por envío, permite aprovechar las oportunidades en economías de escala.
- Costo promedio de transporte saliente: es el costo que representa de transportar un producto desde la instalación y se presenta como una fracción o porcentaje de las ventas y puede diferenciarse entre clientes.
- Tamaño promedio del envío saliente: son en promedio el número de unidades o dinero en cada envío que sale de una instalación.
- Costo promedio de transporte saliente por envío: es el costo de transporte que sale promedio por envío, permite aprovechar las oportunidades en economías de escala.
- Fracción transportada por modo: permite determinar la fracción de transporte que utiliza un medio de transporte determinado.

CAPITULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Enfoque del Proyecto

Esta investigación fue de tipo cuantitativa, como menciona (Sampieri Hernández, 2014): "(...) los planteamientos cuantitativos generalmente se orientan a explorar o describir conceptos (variables) o bien a relacionarlos o compararlos, y por eso deben incluirse" (p.48). En el contexto de las operaciones de distribución de combustible, como elemento estratégico en el país, se recopiló información de los actores y su operación en la red de distribución de gas licuado de petróleo y específico para el estudio, basado en encuestas, software y análisis que permitió obtener magnitudes ideales para la red de distribución para establecer un diseño con un concepto integral.

2.2. Alcance del Proyecto de Investigación

La investigación inicialmente tuvo un alcance descriptivo, alineado a lo señalado por (Hernández Sampieri, 2014): "...únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas" (p. 92).

Es decir, inicialmente se obtuvo la información necesaria de la red de distribución de gas licuado de petróleo en la parroquia de Calderón para su caracterización, luego con base a un estudio del comportamiento de la demanda de los años 2018 y 2019 se realizó el pronóstico para el año 2020.

Una vez obtenidos los datos mencionados, la investigación tuvo un alcance correlacional debido a que la información obtenida fue analizada para determinar el comportamiento de las variables de la red de distribución y plantear la optimización de la red de distribución, complementada con el ajuste de acuerdo con la correlación de las variables obtenidas.

2.3. Diseño de la Investigación

Esta investigación en su diseño será de tipo no experimental, no buscó manipular las variables, el objetivo es la observación, medición, y correlación de estas. En específico se optó por un diseño transeccional correlacional-causal, que consiste en la descripción de las relaciones posibles entre las variables propuestas, estas relaciones pueden manifestar únicamente correlación o a su vez ser de causa-efecto. Para la recolección de datos se utilizó información proporcionada por la institución responsable del control y monitoreo de los actores comerciales y los centros de distribución y almacenamiento de gas licuado de petróleo, que en el Ecuador es la Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrico (ARCH), también se realizó visitas técnicas para la obtención de información de la operación y geolocalización de la infraestructura de distribución.

Para la consolidación de la información obtenida de la infraestructura de distribución y abastecimiento de cilindros de gas licuado de petróleo se utilizó el software Microsoft Excel, en el que se registró la información obtenida conforme a los formatos diseñados para el efecto. También respecto al análisis de la demanda y los pronósticos que se realizaron fueron aplicados utilizando herramientas propias del Software mencionado.

El modelamiento, análisis y visualización de la red de distribución actual como optimizada se lo realizó a través del Software de información geográfica (GIS) que fue seleccionado, una vez que ha podido ser ingresada toda la información de geolocalización de la infraestructura. Para la optimización de las variables elegidas será utilizado el Software de gestión de operaciones llamado *Production and Operations Management - Quantitative Methods* (POM-QM), con el objetivo de hallar una solución óptima de la variable seleccionada.

2.4. Selección de la muestra

2.4.1. Límites Geográficos de Distribución

Este estudio ha definido como espacio geográfico de enfoque a la parroquia Calderón, ubicada en el cantón Quito, que actualmente posee un área de 7 890 hectáreas, donde se encuentra localizada la infraestructura que abastece de glp esta zona.

Se geocalizó los límites de la parroquia Calderón de la parroquia mediante el Software QGIS y mediante la información geográfica del Geo portal del Distrito Metropolitano de Quito, se establecerá los límites de abastecimiento en el Software respectivo.

2.4.2. Demanda de gas licuado de petróleo de la parroquia Calderón

La demanda de gas licuado de petróleo envasado en cilindros de la parroquia Calderón se consideró como la demanda total registrada por los depósitos de distribución que se encuentran ubicados en la parroquia. La estimación de este valor para el año 2020 fue un elemento fundamental en la elaboración y el ajuste del modelo óptimo de la red, por lo tanto, a través del análisis realizado de la demanda en cada eslabón de la distribución la demanda fue obtenida de la siguiente manera:

Para obtener la demanda de GLP en cilindros de los diferentes actores, se solicitó a la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero los reportes de la transferencia de cilindros entre las plantas de envasado y los diferentes centros de acopio de los años 2018 y 2019, fue necesaria también información del Sistema de Trazabilidad Comercial (STC), software que tiene la función de recopilar y validar los datos ingresados por todos los actores de la comercialización de GLP (Plantas de envasado, centros de acopio y depósitos de distribución) respecto a las ventas realizadas de cilindros por día.

Figura 10.

Reporte del Sistema STC

Guía	Producto	Placa	Documento	Fecha	#	Enviado	Tol.	Dif.	Placa
001001000052185	GLP DOMESTICO 15 KG	ZZZ9999	1702579929	03/12/2019	1	80,0	0,0	80,0	

Nota. Tomado de Sistema de Trazabilidad Comercial, por Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, 2020.

La demanda de cada depósito de distribución perteneciente a la parroquia de Calderón de los años 2018 y 2019 se obtuvo del Sistema STC y se lo consolidó en el formato, Demanda de Depósitos de Distribución, Tabla 7, elaborada para el efecto:

Tabla 7.

Formato para registro de cilindros enviados a cada depósito de distribución

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		
PROYECTO	Optimización de la Red De Distribución De Gas Licuado De Petróleo (Glp) en Cilindros del Segmento Doméstico en la Parroquia Calderón	
Demanda de Depósitos de Distribución		
Centro De Acopio	(Nombre)	
Fecha	Depósito De Distribución	Cilindros Entregados
DD/MM/AAAA	#####	#####

La demanda de cada centro de acopio que participa en el abastecimiento a los depósitos de distribución de glp en cilindros de la parroquia de Calderón se obtuvo de los reportes de transferencia de cilindros entre las plantas de envasado y los diferentes centros de acopio remitidos por la ARCH y se lo consolidó en el formato, Demanda de Centro de Acopio, Tabla 8, elaborada para el efecto:

Tabla 8.

Formato para registro de cilindros despachados desde planta de envasado

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		
PROYECTO	Optimización de la Red De Distribución De Gas Licuado De Petróleo (Glp) en Cilindros del Segmento Doméstico en la Parroquia Calderón	
Demanda de Centro de Acopio		
Planta De Envasado:		
Fecha	Centro De Acopio	Cilindros Distribuidos
MM/AAAA	#####	#####

Considerando que la optimización de la red está enfocada al año 2020, los historiales de los cilindros fueron obtenidos para los diferentes nodos de la cadena para los años 2018 y 2019 se registraron en el software Microsoft Excel en tablas elaboradas para el efecto y mediante su herramienta integrada previsión, que consiste en la aplicación del método de suavizado exponencial que puede utilizar los métodos de Brown, Holt o Winters, finalmente se obtuvo un pronóstico de demanda para los depósitos de distribución y centros de acopio que abastecen a la parroquia para el año 2020.

2.5. Caracterización de la red

Con el objetivo de analizar e identificar relaciones entre las variables de distribución y las características técnicas de la infraestructura, se solicitó a la ARCH se proporcione un listado de los depósitos de distribución que actualmente abastecen la parroquia y una vez obtenido el listado se procedió a realizar visitas técnicas a la infraestructura de distribución, es decir planta de envasado de GLP, centros de acopio de cilindros y depósitos de distribución.

2.5.1. Geolocalización de la Infraestructura de distribución

En cada visita técnica utilizando un smartphone se obtuvo las coordenadas geográficas utilizando el Sistema de Posicionamiento Global, GPS, incorporado en el dispositivo y se procedió a obtener las correspondientes coordenadas geográficas para posteriormente consolidar en el formato establecido para el efecto, Tabla 9.

La tabla consolidada de las coordenadas se la ingresó en el software QGIS con el objetivo de modelar y visualizar la actual red de distribución de la parroquia con sus actores.

Tabla 9.

Formato de geolocalización de la Infraestructura

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		
Proyecto	Optimización de la Red De Distribución De Gas Licuado De Petróleo (Glp) en Cilindros del Segmento Doméstico en la Parroquia Calderón	
Geolocalización de la infraestructura		
Infraestructura	Latitud	Longitud

2.5.2. Características técnicas de la Infraestructura de distribución

En las visitas técnicas a los depósitos de distribución y centros de acopio se recopiló información sobre el área máxima de almacenamiento, número de cilindros y área de abastecimiento, adicionalmente se identificó al centro de acopio o planta de la cual actualmente se están abasteciendo. La información fue recolectada en la siguiente Tabla 10, elaborada para el efecto:

Tabla 10.

Datos técnicos de la infraestructura de distribución

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
Ficha Técnica de Infraestructura de Abastecimiento	
Nombre	
Área de Almacenamiento (m²)	
Capacidad de Almacenamiento (cilindros)	
Sitio de Abastecimiento	
Diámetro de Abastecimiento (km)	

Por otra parte, para la planta de envasado de glp en cilindros se obtuvo datos sobre la capacidad de envasado y almacenamiento, que fueron registrados en la siguiente Tabla 11, elaborada para el efecto.

Tabla 11.

Datos Técnicos de Planta de Envasado

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
Características Técnicas de la Planta de Envasado	
Nombre de la Planta	
Capacidad de Envasado (Cilindros/día)	
Capacidad de Almacenamiento (cilindros)	
Sitio de Abastecimiento	

Los datos técnicos también fueron ingresados en el Software GIS para poder visualizar su relación y comportamiento en la actual red de distribución de la parroquia con la precisa ubicación geográfica de los actores comerciales.

2.5.3. Capacidad de Transporte

Una vez identificada la infraestructura que posee la red de distribución en la parroquia de Calderón, fue necesario conocer la capacidad que existe en el transporte de los cilindros entre la misma, por lo tanto, en las visitas técnicas se registró los datos de la Tabla 12.

Tabla 12.

Datos del transporte de GLP en cilindros

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
Datos del transporte de Glp en cilindros	
Depósito / Centro De Acopio/Planta	
Vehículos Disponibles	
Capacidad de Transporte (Cilindros/Día)	

2.6. Herramientas de análisis de datos

2.6.1. Selección de Software GIS

Para poder realizar el procesamiento de la información georreferenciada se seleccionó el software que permite la geolocalización de puntos simultáneos que corresponde a la infraestructura de distribución de la parroquia Calderón, así como las rutas de distribución que se mantienen en la red. El programa fue elegido conforme a parámetros de accesibilidad, costo, herramientas e interfaz de usuario.

2.6.2. Modelo actual de Red

Para la identificación y análisis de la red actual con sus variables, se modeló la red de distribución de gas licuado de petróleo de la parroquia Calderón en el sistema de información geográfica (GIS) seleccionado, se ingresó las coordenadas registradas de la infraestructura y mediante las herramientas de geo análisis en específico la que permite determinar las rutas más cortas se graficó las rutas existentes entre los nodos de distribución.

2.6.3. Identificación del tipo de Red

Considerando la importancia que tiene caracterizar la red de distribución se procedió a contrastar el diseño de la red actual, con los tipos de red descritos en el marco teórico. Se identificó el tipo de red que representa la modalidad de distribución actual y conforme a lo que establece la teoría, se identificó los indicadores de desempeño que deben ser aplicados. Identificar el tipo de red permitirá de acuerdo con (Chopra & Meindl, 2013) conocer las características de desempeño y establecer la función objetivo con base al indicador de desempeño que se va a optimizar de acuerdo con su relación con el abastecimiento.

2.6.4. Indicadores de desempeño

Una vez identificado el tipo de red, de acuerdo con la revisión bibliográfica se estableció los indicadores de desempeño de la red de distribución y se evaluó tanto el modelo actual como el optimizado y así, se valoró su eficiencia y nivel de servicio.

2.7. Optimización de la Red de Distribución de GLP

2.7.1. Análisis de Variables y Aplicación del Algoritmo

Una vez caracterizada, visualizada e identificada la red actual se estableció la función objetivo conforme a la variable que se haya determinado que está estrechamente relacionada con el abastecimiento. La función objetivo como las restricciones se ingresaron en el software de programación lineal, *Production and Operations Management - Quantitative Methods (POM-QM)* para su respectiva solución.

Cabe mencionar que la optimización se realizó de acuerdo con la modalidad de distribución que está autorizada en el marco legal de país, que consiste en el transporte de los cilindros desde la planta de envasado al centro de Acopio y al depósito de distribución para poder ser entregados al cliente final.

2.7.2. Correlación de Variables

Una vez realizada la optimización a través del algoritmo seleccionado, así como la correlaciones entre las variables críticas de abastecimiento identificadas, se procedió a realizar los ajustes a la red optimizada que serán concordantes a satisfacer la estimación de la demanda que haya sido calculada para el año 2020.

2.7.3. Evaluación

Conforme a los indicadores señalados por la teoría para el tipo de red identificado en los modelos actual y optimizado, se procedió analizar las redes de abastecimiento con el objetivo de determinar, valorar y evaluar los cambios y mejoras que presenta la optimización. Finalmente se procedió a redactar las respectivas conclusiones y recomendaciones en concordancia a los resultados que se obtuvo en este trabajo.

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Límites Geográficos de Distribución y Abastecimiento

El estudio se enfocó en la parroquia de Calderón, en el cantón Quito, que tiene un área de 7 892 hectáreas, delimitada geográficamente a partir de la información disponible en el geo portal del Distrito Metropolitano de Quito. Mediante el Software QGIS se ha graficado inicialmente la ciudad a partir de la capa geográfica llamada OpenStreetMap, que consiste en mapas de libre acceso a lo que el software mencionado se conecta y permite la visualización de la ciudad.

Los límites de la parroquia se graficaron con el objetivo de establecer la base en donde se visualizará y analizará la red actual y la red optimizada. El mapa de la parroquia se observa en la siguiente Figura 11.

Figura 11.

Geolocalización de los límites de la parroquia Calderón



3.1.2. Caracterización de la red

3.1.2.1. Almacenamiento y distribución

Se realizó visitas técnicas a los depósitos de distribución, centros de acopio y plantas de envasado con el objetivo de caracterizar a la infraestructura actual de distribución y establecer el modelo actual. La información fue recuperada conforme los formatos establecidos en las Tablas 9 y 10, establecidas para el efecto. La información total registrada de las características técnicas de toda la infraestructura de la red se presenta en la Tabla 13, 14 y 15.

De acuerdo con la lista remitida por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero de los depósitos de distribución de gas licuado de petróleo envasado en cilindros registrados en la parroquia de Calderón se realizó las visitas técnicas a esta infraestructura y se recopiló la información conforme a lo establecido en la tabla 10.

Tabla 13.

Características de los depósitos de distribución

Depósito de Distribución	Área de Almacén (m ²)	Capacidad de almacén (cilindros)	Diámetro de Abastecimiento (km)	Sitio de Abastecimiento
D1	15	270	6	CA 3
D2	18	324	15	CA 3
D3	16	288	7	CA 4
D4	20	360	15	Planta Duragas
D5	13	234	3	CA 2
D6	14	252	13	CA 3
D7	14	252	15	CA 3
D8	18	324	12	CA 3
D9	16	288	13	CA 1
D10	16	288	8	CA 1
D11	17	306	11	CA 1
D12	18	324	14	CA 3
D13	10	180	11	CA 3
D14	13	234	11	CA 3
D15	18	324	14	Planta Duragas
D16	17	306	8	CA 3
D17	14	252	15	CA 3
D18	12	216	12	Planta Duragas
D19	14	252	13	CA 4
D20	20	360	11	CA 4

D21	15	270	9	CA 4
D22	14	252	8	Planta Duragas
D23	10	180	8	Planta Duragas
D24	17	306	10	CA 2
D25	15	270	12	CA 4
D26	10	180	8	CA 3
D27	12	216	9	CA 5
D28	17	306	8	CA 5
D29	10	180	14	CA 4
D30	15	270	9	CA 3
D31	12	216	14	CA 3
D32	18	324	8	CA 3
D33	11	198	15	CA 4
D34	18	324	10	CA 4
D35	12	216	14	CA 3
D36	19	342	13	CA 4
D37	12	216	12	CA 3
D38	10	180	15	CA 4
D39	19	342	8	CA 4
D40	18	324	15	CA 3
D41	16	288	10	CA 4
D42	13	234	13	CA 4
D43	15	270	12	CA 3
D44	11	198	11	CA 3
D45	18	324	10	CA 3
D46	14	252	10	CA 3
D47	17	306	10	CA 1
D48	20	360	14	Planta Duragas
D49	10	180	13	CA 3
D50	17	306	13	Planta Duragas
D51	18	324	12	Planta Duragas
D52	18	324	8	CA 4

Una vez obtenidos y consolidados los datos de los depósitos de distribución, se determinó que existen 52 depósitos en la parroquia Calderón que son abastecidos por 5 centros de acopio ubicados en el Cantón Quito y 6 depósitos que son abastecidos directamente por la planta de envasado de la comercializadora Duragas ubicada en la parroquia Pifo cantón Quito.

Identificados los centros de Acopio que participan en la distribución, se procedió a realizar la visita técnica a estos, en la que conforme al formato establecido para la recolección de información (Tabla 10), se obtuvo las características de distribución que se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14.

Características de los Centros de Acopio

Centro de Acopio	Área para Almacenaje (m²)	Capacidad de almacén (cilindros)	Sitio de Abastecimiento
CA 1	84	1 520	Planta Eni
CA 2	114	2 050	Planta Eni
CA 3	168	3 028	Planta Eni
CA 4	150	2 694	Planta Eni
CA 5	166	2 990	Planta Eni

Considerando las plantas que participan en esta red, se utilizó el formato de recolección de datos de planta de envasado (Tabla 11) y se registró los datos técnicos de esta infraestructura encargada de abastecer a los centros de acopio de glp en cilindros detallados en la Tabla 14 y que a su vez estos acopios se encargan de abastecer a sus correspondientes depósitos de distribución, los datos técnicos de las plantas de envasado se presentan en la Tabla 15, así como un mapa de locación en la Figura 12.

Tabla 15.

Características de Plantas de Envasado

Planta de Envasado	Capacidad de almacén (cilindros)	Capacidad de Envasado (Cilindros/día)	Sitio de Abastecimiento
ENI Ecuador	40,000	32,000	Terminal Oyambaro
Duragas	10,667	8,530	Terminal Oyambaro

Figura 12.

Terminal EPP y Plantas en parroquia Pifo



Las dos plantas de envasado visitadas se encuentran ubicadas en la parroquia Pifo del Cantón Quito y son abastecidas por el terminal de almacenamiento y despacho de GLP Oyambaro, el terminal lo opera la EP Petroecuador y tiene la función de almacenar y despachar gas licuado de petróleo únicamente a estas dos plantas de envasado. De acuerdo con la planificación de combustible que posee ARCH se evidenció que en promedio se asigna a estas plantas 450 toneladas por día para la planta de ENI y 120 toneladas por día para Duragas.

3.1.2.2. Geolocalización de la Infraestructura de distribución

En las visitas técnicas realizadas a los depósitos de distribución, centros de acopio y plantas de envasado mediante un teléfono inteligente se obtuvo las coordenadas geográficas de cada infraestructura utilizando el Sistema de Posicionamiento Global, GPS, incorporado en el dispositivo, se las registro conforme al formato establecido para el efecto (Tabla 9) y se consolido en las tablas 16, 17 y 18 como se observa a continuación:

Tabla 16.

Coordenadas Depósitos de Distribución de Calderón

Depósitos de distribución		
Nombre	Latitud	Longitud
D1	0 3 15.9 S	78 25 17.4 W
D2	0 7 5.2 S	78 26 11.9 W
D3	0 5 57.2 S	78 26 38.5 W
D4	0 5 36.6 S	78 25 32.3 W
D5	0 3 29.9 S	78 26 6.0 W
D6	0 6 40.8 S	78 24 52.8' W
D7	0 5 0.1 S	78 26 23.6 W
D8	0 5 41.7 S	78 25 38.7 W
D9	0 3 15.8 S	78 25 32.8 W
D10	0 4 29 S	78 26 28.5 W
D11	0 7 39.7 S	78 25 5.3 W
D12	0 4 40.9 S	78 26 35.7 W
D13	0 4 25.7 S	78 25 59.9 W
D14	0 4 34.6 S	78 25 12 W
D15	0 4 39.7 S	78 26 33.7 W
D16	0 5 18.4 S	78 26 47.5 W
D17	0 6 35.5 S	78 23 39.2 W
D18	0 7 38.2 S	78 25 9.5 W
D19	0 7 5.7 S	78 25 34.9 W
D20	0 4 4.9 S	78 25 53.7 W
D21	0 7 40.3 S	78 24 48.8 W

D22	0 5 20.6 S	78 26 32.8 W
D23	0 4 52.5 S	78 26 50.7 W
D24	0 5 59.4 S	78 27 18.7 W
D25	0 4 35 S	78 26 25.2 W
D26	0 7 4.1 S	78 25 58.7 W
D27	0 3 20.5 S	78 25 41.8 W
D28	0 3 42.5 S	78 26 07.0 W
D29	0 5 11 S	78 25 8.3 W
D30	0 5 47.4 S	78 23 57.7 W
D31	0 6 49.2 S	78 25 53.5 W
D32	0 3 24 S	78 25 26.4 W
D33	0 5 14.3 s	78 27 8.2 w
D34	0 5 31.9 S	78 26 21.1 W
D35	0 3 46.9 S	78 26 3 W
D36	0 6 45.9 S	78 26 59.7 W
D37	0 4 43.1 S	78 26 36.6 W
D38	0 4 3.8 S	78 25 59.1 W
D39	0 4 58.5 S	78 24 40.2 W
D40	0 5 25.6 S	78 24 56.3 W
D41	0 5 30.3 S	78 26 25.9 W
D42	0 3 29.2 S	78 25 1.80 W
D43	0 3 57.5 S	78 24 42.4 W
D44	0 5 55.2 S	78 24 46.6 W
D45	0 4 18.8 S	78 25 37.9 W
D46	0 5 9.1 S	78 25 47.6 W
D47	0 6 0.0 S	78 25 21.4 W
D48	0 5 59.3 S	78 26 0.6 W
D49	0 4 43 S	78 26 26.2 W
D50	0 4 47.5 S	78 26 23.4 W
D51	0 4 47.1 S	78 26 20.6 W
D52	0 5 30 S	78 26 46.5 W

Tabla 17.

Coordenadas Centros de Acopio de Calderón

Centros de Acopio		
Nombre	Latitud	Longitud
CA 1	0 8 51.8 S	78 28 26.7 W
CA 2	0 7 44.3 S	78 27 42.8 W
CA 3	0 5 09.3 S	78 25 47.7 W
CA 4	0 5 41.3 S	78 28 14.0 W
CA 5	0 6 36.5 S	78 30 30.9 W

Tabla 18.

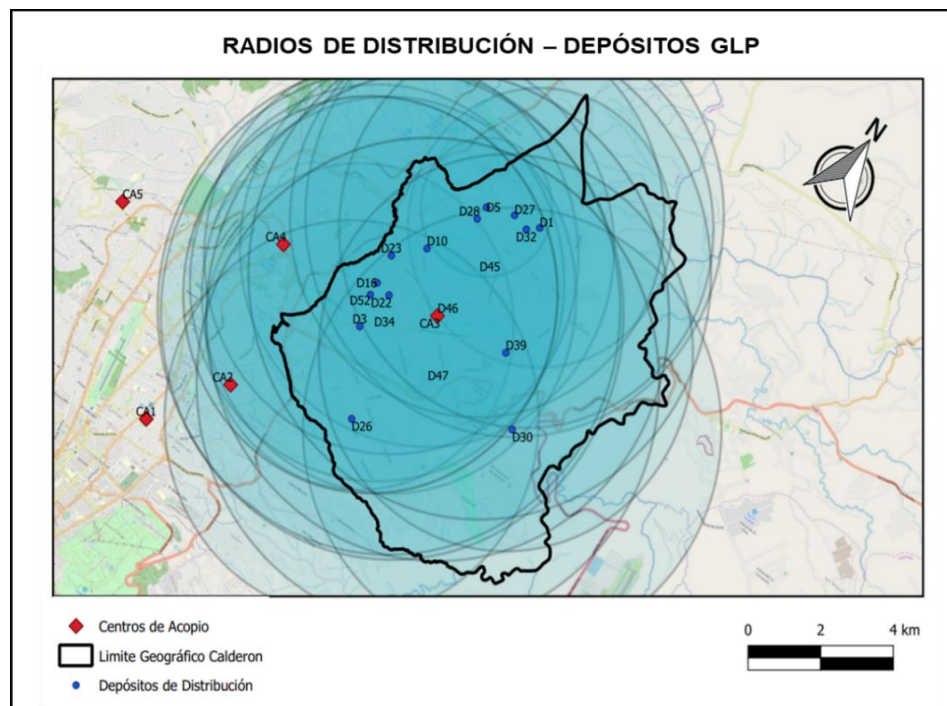
Coordenadas Plantas de Envasado

Plantas de Envasado		
Nombre	Latitud	Longitud
Planta Eni	0 17 10.8 S	78 21 09.8 W
Planta Duragas	0 17 27.2 S	78 21 09.1 W

Con los datos de geolocalización adquiridos de los depósitos de distribución se procedió a ingresarlos en el mapa de la parroquia, así como lo diámetros de abastecimiento que se mantienen actualmente expresado por los distribuidores, el mapa se visualiza representado en la Figura 13.

Figura 13.

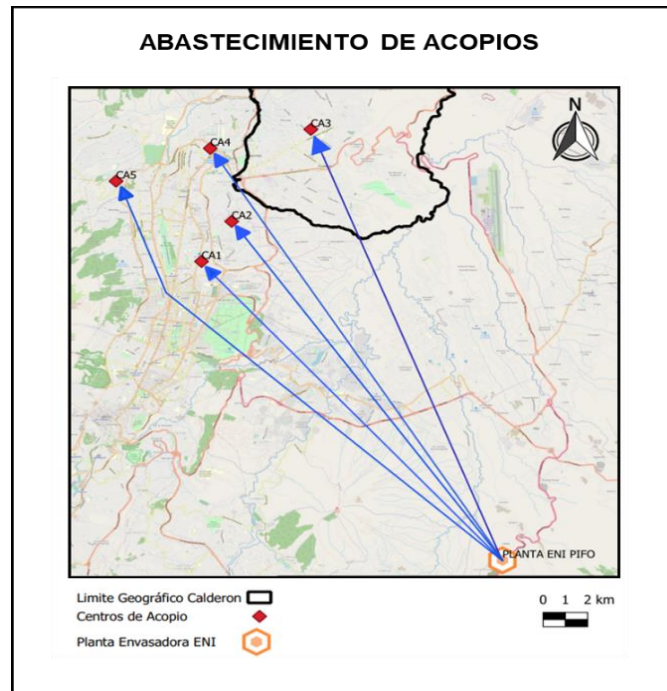
Radios cubiertos actualmente por distribuidores



En la Figura 13 se visualizó que actualmente la distribución no posee una programación u optimización alguna, posee un comportamiento desordenado y aleatorio en la distribución de un combustible que actualmente es en gran parte subsidiado y que en presencia de una sobre demanda en la parroquia puede ser vendido a negocios o locales que no tienen el correspondiente permiso para el consumo de GLP doméstico causando una afectación directa al Estado.

Figura 14.

Abastecimiento de los centros de acopio



En la Figura 14 se observa el sitio de abastecimiento de los cinco centros de acopio determinados previamente que a su vez abastecen a los depósitos de glp la parroquia de Calderón. Se evidenció que todos pertenecen a la comercializadora ENI y se abastecen de la Planta Envasadora ubicada en la parroquia Pifo.

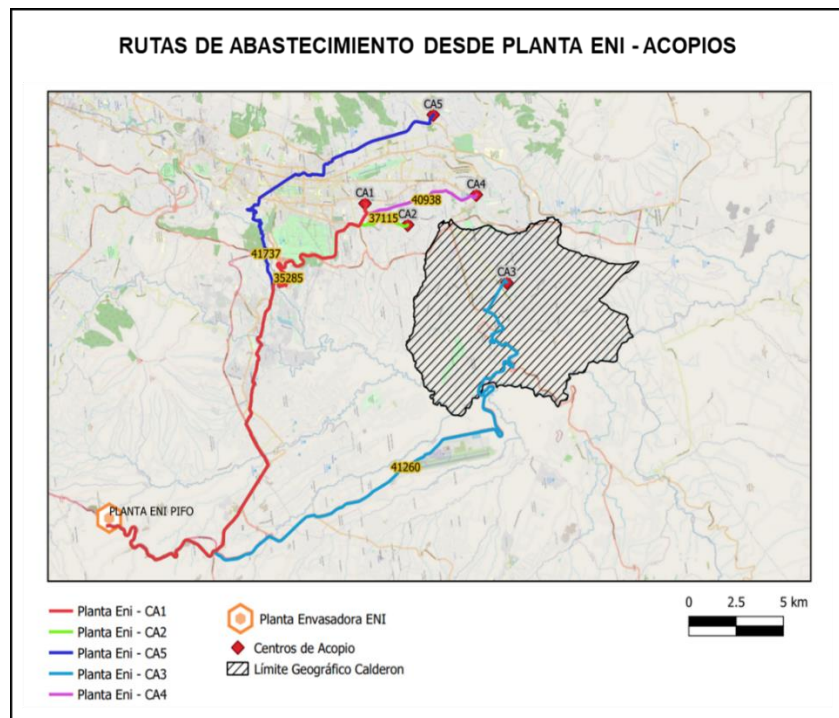
3.1.2.3. Rutas de Distribución

Una vez geolocalizada la infraestructura que interactúa en la red de distribución para el abastecimiento de la parroquia de Calderón, se procedió a medir las distancias entre cada nodo considerando el flujo de abastecimiento detallado en las Tabla 13 y 14.

Se determinó las distancias que actualmente recorren los vehículos de distribución de cilindros de gas licuado de petróleo entre los distintos nodos de la red, utilizando el programa QGIS y su herramienta integrada para la medición de distancias entre dos puntos utilizando una capa de vialidad en un área establecida. Para utilizar la herramienta de medición de distancias, se integró en el mapa de trabajo la capa de vialidad de la parroquia de Calderón, obtenida del geo portal del Distrito Metropolitano de Quito. Se procedió a calcular cada una de las distancias de las rutas del modelo actual de distribución.

Figura 15.

Rutas de Abastecimiento de Planta a Centros de Acopio



Las rutas entre las plantas de envasado y los centros de acopio se visualizan en la Figura 15 y se detalla las distancias en la Tabla 19, mediante el análisis de la red se determinó que el mecanismo de abastecimiento consiste en que los vehículos que son propiedad de los centros de acopio se dirigen hacia la planta de envasado con el fin de retirar el glp en cilindros, esperan a su respectivo turno de carga y llevan el producto a su correspondiente centro de acopio. Existe una espera de hasta 20 horas y 8 horas en las plantas Eni y Duragas respectivamente.

Tabla 19.

Distancias desde la Planta de Envasado ENI a Acopios

Ruta		Distancias (m)
Desde	Hacia	
Planta ENI	CA 1	35 754
Planta ENI	CA 2	37 599
Planta ENI	CA 3	41 755
Planta ENI	CA 4	41 427
Planta ENI	CA 5	42 215

Las rutas que actualmente recorren los vehículos de distribución para abastecerse de los cinco centros de acopio se presentan en las Figuras 16,17,18,19, 20 y 21. La vinculación de los depósitos a cada centro de acopio correspondiente se detalla en la Tabla 20.

Tabla 20.

Depósitos Vinculados a la Infraestructura de distribución

Centro de Acopio	Depósitos Vinculados
CA 1	D9 D10 D11 D47
CA 2	D5 D24
CA 3	D1 D2 D6 D7 D8 D12 D13 D14 D16 D17 D26 D30 D31 D32 D35 D37 D40 D43 D44 D45 D46 D49
CA 4	D3 D19 D20 D21 D25 D29 D33 D34 D36 D38 D39 D41 D42 D52
CA 5	D27 D28
Planta Duragas	D4 D15 D18 D22 D23 D48 D50 D51

Se ha identificado 8 depósitos de la parroquia de Calderón que se abastecen directamente desde la planta de envasado propiedad de la comercializadora Duragas, como se puede visualizar en la Figura 21, sin embargo, de acuerdo con la revisión realizada al marco legal actual no permite la distribución a depósitos que tienen vehículos para la distribución directamente de una planta de envaso.

Figura 16.

Red de abastecimiento del Centro de Acopio 1



Figura 17.

Red de abastecimiento del Centro de Acopio 2



Figura 18.

Red de abastecimiento del Centro de Acopio 3

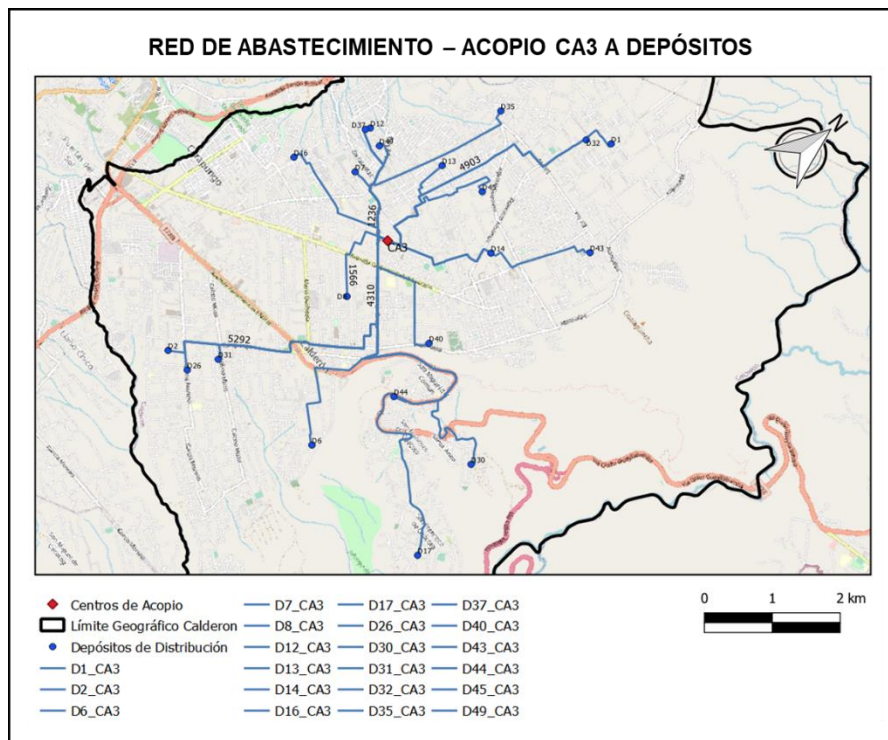


Figura 19.

Red de abastecimiento del Centro de Acopio 4

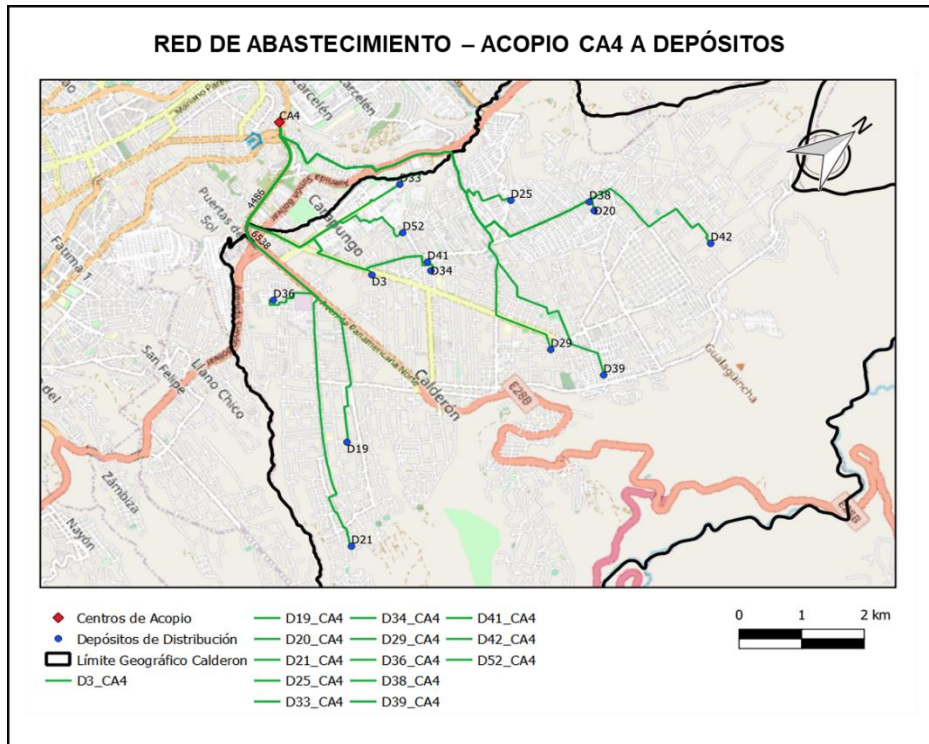


Figura 20.

Red de abastecimiento del Centro de Acopio 5

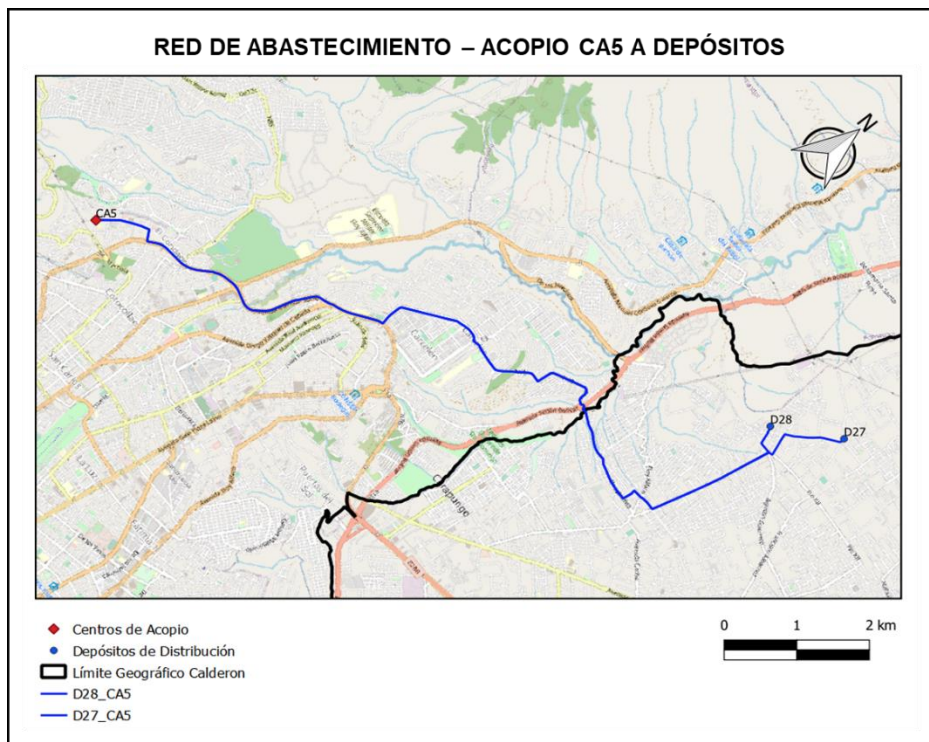
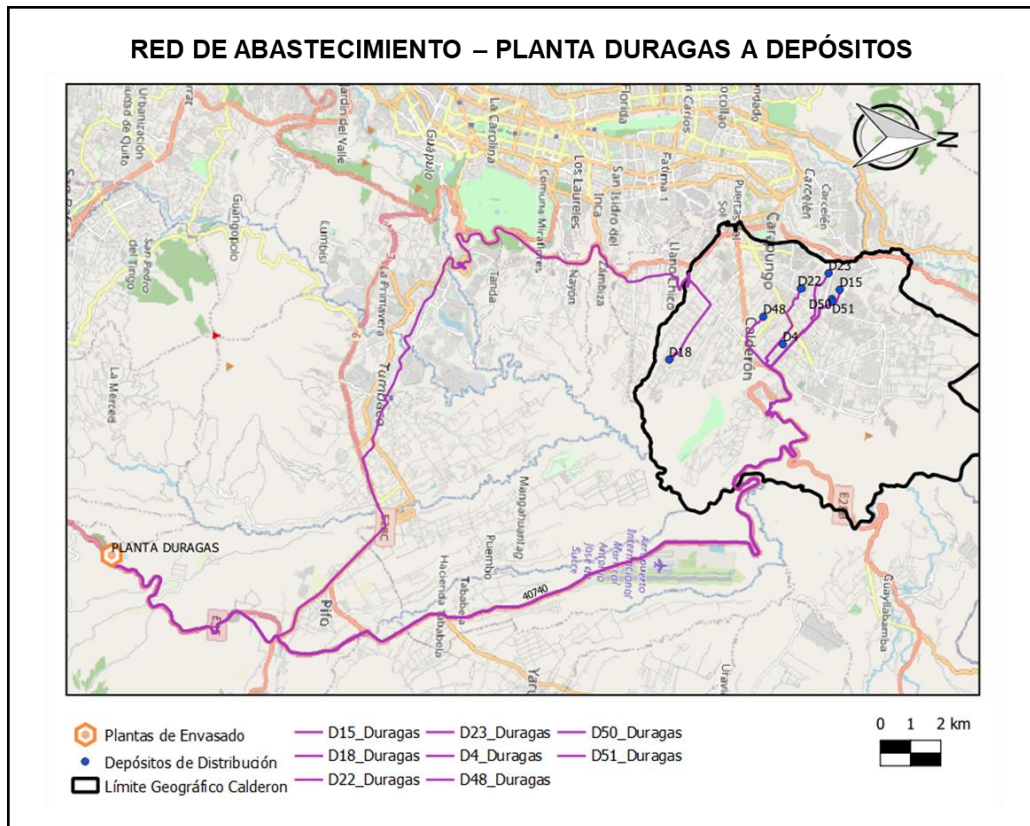


Figura 21.

Red de abastecimiento a depósitos desde la Planta Duragas



En las rutas visualizadas en las figuras mencionadas se visualizó que los distribuidores de gas licuado de petróleo realizan en ciertos casos recorridos de larga distancia a pesar de tener centros de acopio que se encuentran cerca de su ubicación, esto evidencia que no existe una optimización en cuanto a sus rutas. El resumen de las distancias obtenidas del programa QGIS que corresponden al modelo actual de distribución se detalla a continuación en la Tabla 21.

Tabla 21.

Distancias de distribución del modelo actual

Depósito de Distribución	Acopio / Planta Abastecimiento	Distancia (m)
D1	CA 3	4 903
D2	CA 3	5 292
D3	CA 4	4 486
D4	Planta Duragas	40 740
D5	CA 2	11 090
D6	CA 3	4 310

D7	CA 3	1 236
D8	CA 3	1 566
D9	CA 1	14 121
D10	CA 1	16 000
D11	CA 1	10 956
D12	CA 3	2 079
D13	CA 3	2 016
D14	CA 3	1 866
D15	Planta Duragas	43 448
D16	CA 3	2 127
D17	CA 3	9 000
D18	Planta Duragas	42 980
D19	CA 4	6 537
D20	CA 4	7 143
D21	CA 4	8 294
D22	Planta Duragas	42 835
D23	Planta Duragas	43 986
D24	CA 2	5 311
D25	CA 4	6 382
D26	CA 3	5 312
D27	CA 5	13 596
D28	CA 5	12 793
D29	CA 4	7 681
D30	CA 3	8 987
D31	CA 3	4 624
D32	CA 3	4 355
D33	CA 4	5 893
D34	CA 4	5 736
D35	CA 3	3 405
D36	CA 4	4 910
D37	CA 3	2 006
D38	CA 4	6 913
D39	CA 4	8 557
D40	CA 3	2 414
D41	CA 4	5 480
D42	CA 4	9 695
D43	CA 3	3 644
D44	CA 3	6 810
D45	CA 3	2 793
D46	CA 3	0
D47	CA 1	14 120
D48	Planta Duragas	41 672
D49	CA 3	1 780
D50	Planta Duragas	42 994
D51	Planta Duragas	42 908
D52	CA 4	5 152

3.1.2.4. Capacidad de Transporte

Conocida la infraestructura que está implementada para el abastecimiento de gas licuado de petróleo, así como las rutas que actualmente se utilizan para el transporte del glp, se procedió a obtener la información de la capacidad de transporte existente entre cada nodo de la red de distribución. Se recolectó información inherente al transporte conforme el formato que se estableció para el efecto (Tabla 12) y se obtuvo los resultados que se presentan en la Tabla 22 y 23.

Tabla 22.

Capacidad de Transporte de entre depósitos y Acopios

Depósitos de Distribución	Número de Vehículos	Capacidad de Transporte (T)	Capacidad de Transporte (cilindros)
D1	2	5.5	183
D2	3	9.1	303
D3	3	9.3	310
D4	4	11.4	380
D5	3	7.1	239
D6	1	2.5	83
D7	2	6.8	228
D8	1	3.5	115
D9	2	7.5	250
D10	1	1.3	44
D11	2	3.5	117
D12	3	5.4	180
D13	3	8.8	292
D14	2	8	267
D15	4	17.4	580
D16	2	5.4	180
D17	2	6.2	206
D18	4	25.7	857
D19	2	4.8	160
D20	3	8	267
D21	2	9.5	317
D22	4	10.2	341
D23	4	10.1	338
D24	4	11	367
D25	0	0	0
D26	4	18.5	617
D27	2	9.5	317
D28	4	15.8	527
D29	2	6.7	225

D30	4	12	400
D31	4	10.9	364
D32	3	8.6	287
D33	1	4.6	154
D34	3	11.3	378
D35	1	2.1	70
D36	1	2	67
D37	2	4.6	154
D38	2	4.6	154
D39	2	4.9	163
D40	1	2.8	93
D41	2	5	167
D42	2	5.6	187
D43	2	6.5	217
D44	3	8.6	287
D45	1	3.5	117
D46	0	0	0
D47	2	4	133
D48	2	6.3	210
D49	2	2.1	70
D50	4	13.3	445
D51	4	11.3	376
D52	2	4.5	150

Tabla 23.

Capacidad de transporte de Entre Planta y Centros de Acopio

Centros de Acopio	Número de Vehículos	Capacidad de Transporte (T)	Capacidad de Transporte (cilindros)
CA1	5	89	2 967
CA2	3	105	3 500
CA3	5	165	5 500
CA4	8	199	6 633
CA5	7	155	5 167

La capacidad de transporte entre los nodos de la red ha sido expresada en las Tablas 22 y 23 en términos de cilindros, partiendo de las capacidades de carga que poseen los vehículos, este dato que se obtuvo de las matrículas vehiculares y está expresado en toneladas, se transformó esta capacidad cilindros considerando que la composición en peso de un cilindro lleno es quince quilos correspondientes al acero más quince quilos de producto envasado.

3.1.3. Demanda de la Red de Distribución

3.1.3.1. Depósitos de distribución

Conforme al listado proporcionado por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero de los depósitos de distribución pertenecientes a la parroquia de Calderón, se procedió a obtener los reportes del Sistema de Trazabilidad Comercial (STC) de los cilindros distribuidos en el periodo 2018 – 2019, por cada depósito y se determinó que actualmente existen 51 depósitos de distribución activos en la parroquia y su demanda mensual. La demanda acumulada anual se detalla a continuación en la Tabla 24.

Tabla 24.

Demanda Anual de Depósitos de Distribución de Calderón

Depósitos de Distribución	Demanda de Cilindros 2018	Demanda de Cilindros 2019	Variación Porcentual
D1	11 020	15 409	40%
D2	39 351	56 533	44%
D3	15 895	30 049	89%
D4	49 967	41 188	-18%
D5	10 906	7 745	-29%
D6	0	12 598	----
D7	28 232	32 957	17%
D8	45 723	22 046	-52%
D9	23 609	24 503	4%
D10	20 640	22 103	7%
D11	17 686	16 397	-7%
D12	36 392	46 164	27%
D13	48 671	42 268	-13%
D14	17 975	24 202	35%
D15	34 631	36 595	6%
D16	22 788	23 807	4%
D17	15 065	23 395	55%
D18	32 079	36 642	14%
D19	13 749	18 193	32%
D20	24 424	35 027	43%
D21	57 698	74 049	28%
D22	67 584	62 534	-7%
D23	28 830	32 355	12%
D24	61 752	46 414	-25%

D25	2 443	4 065	66%
D26	23 399	21 367	-9%
D27	19 138	18 085	-6%
D28	55 415	44 256	-20%
D29	19 064	18 973	0%
D30	62 913	67 283	7%
D31	81 054	63 502	-22%
D32	24 498	40 716	66%
D33	46 150	49 925	8%
D34	29 097	23 685	-19%
D35	21 097	21 045	0%
D36	6 758	7 120	5%
D37	9 517	17 641	85%
D38	22 459	18 038	-20%
D39	13 521	24 254	79%
D40	21 385	20 596	-4%
D41	16 680	27 485	65%
D42	24 911	28 738	15%
D43	13 635	13 466	-1%
D44	26 810	32 596	22%
D45	13 867	11 948	-14%
D46	69538	90610	30%
D47	19 484	17 684	-9%
D48	49 361	59 600	21%
D49	20 462	24 479	20%
D50	37 974	30 209	-20%
D51	49 941	79 684	60%
D52	28 310	29 025	3%

Nota. Datos obtenidos del Sistema de Trazabilidad Comercial de ARCH, 2019.

De los datos obtenidos del Sistema de Trazabilidad comercial y consolidados en la se puede determinar que en la parroquia Caderón para el año 2018 se tuvo una demanda de 1 553 548 cilindros y para el año 2019 un total de 1 689 248 cilindros, es decir que demanda tuvo un crecimiento del 8,7 %. Las demandas de cada depósito de distribución fueron graficadas y se observa que en ciertos casos no existe una tendencia marcada o estacionalidad.

3.1.3.2. Centros de Acopio

Una vez identificados los centros de acopio, como segundo paso se procedió a extraer la información de la demanda de los años 2018 y 2019 registrada en los reportes de

transferencia de cilindros desde las plantas de envasado hacia los diferentes centros de acopio que posee registrados la ARCH para Calderón. En las Tablas 25 y 26 se detalla la demanda que cada acopio tuvo por mes de los años en mención.

Tabla 25.

Demanda de cilindros por Centros de Acopio 2018

Mes	CA 1	CA 2	CA 3	CA 4	CA 5
ene.-18	34 739	32 812	65 038	81 765	100 151
feb.-18	29 263	29 991	51 498	65 288	80 757
mar.-18	32 001	38 937	65 938	66 828	96 482
abr.-18	33 835	37 932	66 719	64 485	99 508
may.-18	35 198	38 837	70 880	68 640	96 505
jun.-18	33 181	38 278	68 735	63 303	90 084
jul.-18	34 383	42 291	73 514	58 281	101 292
ago.-18	33 779	39 183	71 815	59 531	97 355
sep.-18	32 361	36 252	71 311	54 881	87 375
oct.-18	37 261	40 338	76 533	60 258	98 294
nov.-18	34 182	42 441	72 044	57 081	91 915
dic.-18	35 991	39 335	76 639	62 738	87 777

Nota. Datos obtenidos de los reportes de transferencia de cilindros de ARCH, 2018.

Tabla 26.

Demanda Centros de Acopio 2019

Mes	CA 1	CA 2	CA 3	CA 4	CA 5
ene.-19	34 199	37 227	69 868	68 566	85 472
feb.-19	30 746	33 166	62 143	64 815	77 385
mar.-19	33 791	35 329	71 412	72 314	82 925
abr.-19	31 806	36 262	84 656	78 523	81 519
may.-19	31 726	35 308	87 537	84 294	80 917
jun.-19	29 304	31 243	78 709	80 696	70 858
jul.-19	30 112	35 326	88 597	92 291	84 677
ago.-19	33 889	36 118	82 562	79 865	85 642
sep.-19	35 162	43 895	82 956	75 390	86 591
oct.-19	41 920	43 866	89 024	71 751	83 868
nov.-19	35 332	41 036	68 753	72 947	88 459
dic.-19	36 919	46 008	76 606	73 470	89 519

Nota. Datos obtenidos de los reportes de transferencia de cilindros de ARCH, 2019.

Las variaciones en la demanda entre los años 2018 y 2019 de los centros de acopio que abastecen a la parroquia de Calderón se detallan en la Tabla 27 y Figura 22, cabe recalcar que la demanda analizada de los centros de acopio es la correspondiente a la que registran con respecto al abastecimiento de todos sus depósitos, es decir que en la demanda de cada uno, estarán presentes tanto los depósitos de la parroquia de Calderón, así como también los que pertenecen a las otras parroquias del Distrito Metropolitano.

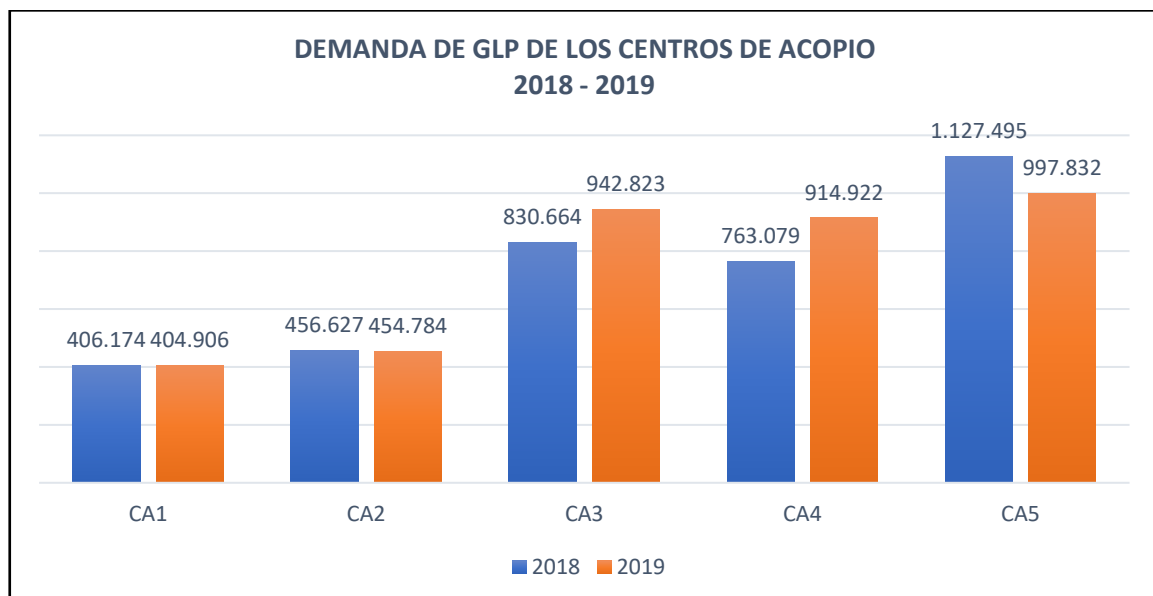
Tabla 27.

Variación porcentual de la demanda en acopios de cilindros de glp

Año	CA 1	CA 2	CA 3	CA 4	CA 5
2018	406 174	456 627	830 664	763 079	1 127 495
2019	404 906	454 784	942 823	914 922	997 832
Variación	-0.3%	-0.4%	13.5%	19.9%	-11.5%

Figura 22.

Comparativa de la Demanda de los Centros de Acopio 2018 a 2019



Se realizó el análisis de la variación la demanda de los centros de acopio considerando que en los casos que esta disminuya, representará una mayor disponibilidad en la capacidad de almacenamiento del centro de acopio, es decir que si su demanda baja, el centro de acopio tendrá mayor capacidad de almacenamiento en el caso que en una optimización se asigne una mayor cantidad de cilindros para el mismo.

3.1.4. Pronóstico de la Demanda

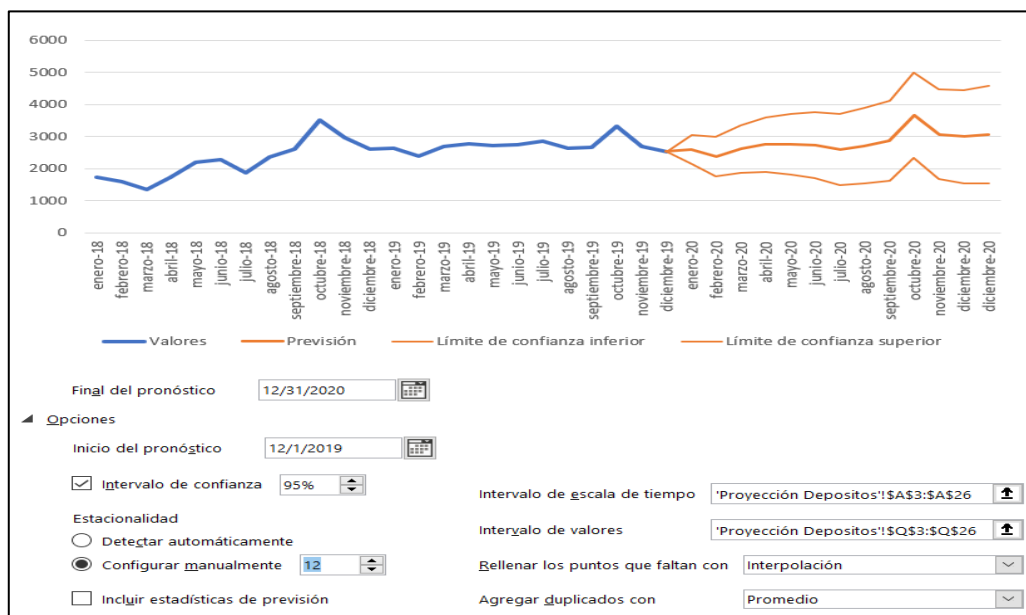
Una vez obtenidos y procesados los datos de la demanda de cilindros de gas licuado de petróleo correspondiente a los años 2018 y 2019 de los depósitos de distribución y de los centros de acopio, se utilizaron como insumo para pronosticar la demanda para el año 2020, mediante la aplicación del método de suavizado exponencial.

El método utilizado para el pronóstico de la demanda para el año 2020 fue el suavizado exponencial planteado por Brown, Holt y Winters que fueron detallados en el marco teórico del presente proyecto. La aplicación del método para este estudio se debe a que puede ser ajustado de acuerdo a constantes de suavizado con criterios de aleatoriedad, estacionalidad y tendencia, que son justamente patrones del comportamiento que se observó de manera general en la demanda de GLP en los depósitos de distribución y centros de Acopio de la parroquia Calderón.

Se ejecutó el mencionado método a través del uso de la herramienta Previsión de Microsoft Excel. Se realizó los ajustes de los parámetros de pronóstico como se observa en la Figura 23 conforme se visualizaba el comportamiento de la demanda de cada uno de los depósitos de distribución y centros de acopio con el objetivo de pronosticar la demanda de la infraestructura mencionada de la forma más cercana a la realidad del año 2020.

Figura 23.

Selección de parámetros de pronóstico de la demanda por depósito



Se realizó el análisis para cada uno de los 52 depósitos de distribución y los 5 centros de acopio con el objetivo de pronosticar cual será la demanda para el año 2020. La demanda para el año objetivo se presenta en la Tabla 28 y para los Centros de Acopio en la Tabla 29.

Tabla 28.

Pronóstico de la demanda de glp 2020 de depósitos de distribución

Depósitos de Distribución	Demanda de Cilindros 2019	Demanda de Cilindros 2020	Variación Porcentual
D1	15 409	22 081	43%
D2	56 533	66 072	17%
D3	30 049	38 463	28%
D4	41 188	29 914	-27%
D5	7 745	7 453	-4%
D6	12 598	13 528	7%
D7	32 957	35 181	7%
D8	22 046	12 710	-42%
D9	24 503	25 531	4%
D10	22 103	22 826	3%
D11	16 397	15 091	-8%
D12	46 164	42 232	-9%
D13	42 268	36 665	-13%
D14	24 202	26 742	10%
D15	36 595	40 692	11%
D16	23 807	24 863	4%
D17	23 395	23 715	1%
D18	36 642	41 524	13%
D19	18 193	20 920	15%
D20	35 027	38 998	11%
D21	74 049	84 215	14%
D22	62 534	59 299	-5%
D23	32 355	37 587	16%
D24	46 414	52 691	14%
D25	4 065	4 831	19%
D26	21 367	19 133	-10%
D27	18 085	17 572	-3%
D28	44 256	47 830	8%
D29	18 973	19 462	3%
D30	67 283	70 077	4%
D31	63 502	53 029	-16%
D32	40 716	42 520	4%
D33	49 925	52 533	5%
D34	23 685	17 565	-26%
D35	21 045	20 670	-2%

D36	7 120	7 875	11%
D37	17 641	40 058	127%
D38	18 038	15 401	-15%
D39	24 254	24 931	3%
D40	20 596	20 551	0%
D41	27 485	23 176	-16%
D42	28 738	29 936	4%
D43	13 466	19 525	45%
D44	32 596	33 690	3%
D45	11 948	10 267	-14%
D46	90 610	92 453	2%
D47	17 684	16 892	-4%
D48	59 600	63 188	6%
D49	24 479	22 842	-7%
D50	30 209	21 998	-27%
D51	79 684	82 085	3%
D52	29 025	28 196	-3%

Tabla 29.

Pronóstico de la demanda de glp 2020 de centros de acopio

Mes	CA 1	CA 2	CA 3	CA 4	CA 5
ene.-20	34 586	38 975	75 821	85 577	78 945
feb.-20	30 912	35 178	66 982	79 373	68 760
mar.-20	33 924	38 607	77 374	84 494	76 590
abr.-20	32 358	38 965	88 244	88 020	76 032
may.-20	32 436	38 241	91 714	92 404	74 854
jun.-20	31 502	36 617	84 219	88 058	67 811
jul.-20	32 498	40 813	91 630	95 955	80 619
ago.-20	34 145	39 890	87 513	84 515	79 522
sep.-20	34 125	42 608	87 408	80 962	75 376
oct.-20	39 939	44 326	93 116	80 171	78 851
nov.-20	35 025	43 740	80 271	82 461	78 397
dic.-20	36 363	43 079	89 339	85 090	73 560
Total 2020	407 814	481 038	1 013 629	1 027 080	909 316

Analizada la demanda de la infraestructura de la red de distribución se evidencio: en los depósitos de distribución, se estima que únicamente en el caso de 19 depósitos tendrán una disminución en su demanda, es decir a este nivel en general se espera un crecimiento; referente los centros de acopio, en tres de los analizados para el año 2020 se espera una disminución en su demanda, sin embargo, en estos acopios (CA1, CA 2 y CA 5) se ha evidenciado que poseen depósitos de distribución que reflejan una tendencia a incrementar su demanda, es decir la disminución aparente en el pronóstico de la demanda de los

centros de acopio mencionados, podría ser alterada considerando que los depósitos que pertenecen a la red de estos centros poseen una tendencia al alza en su demanda para el siguiente año.

Para efectos de la optimización se determinó una demanda diaria para el año 2020, obtenida mediante la proyección de la demanda de los depósitos de distribución de la parroquia de Calderón registrada en los años 2018 y 2019. La demanda se estimó que será de 1 737 279 cilindros, que representaría un despacho mensual de 144 773 cilindros o 5568 cilindros diarios.

3.1.5. Herramientas de análisis de datos

3.1.5.1. Selección de Software GIS

Se seleccionó el *software* QGIS, que consiste en un sistema de información geográfica que es de libre acceso, es decir, su descarga y uso es gratuito junto a los complementos que existen. Se ha optado por su última versión que corresponde a la tercera desde que el software se publicó, la selección se ha realizado considerando la capacidad de procesamiento de la información que se posee. En este estudio se realizó geolocalización, geoprocésamiento y análisis de redes. El programa Arc GIS se descartó considerando que el análisis y las herramientas que eran necesarias para este proyecto significaban una inversión y las capacidades de interconexión con otros mapas eran limitadas.

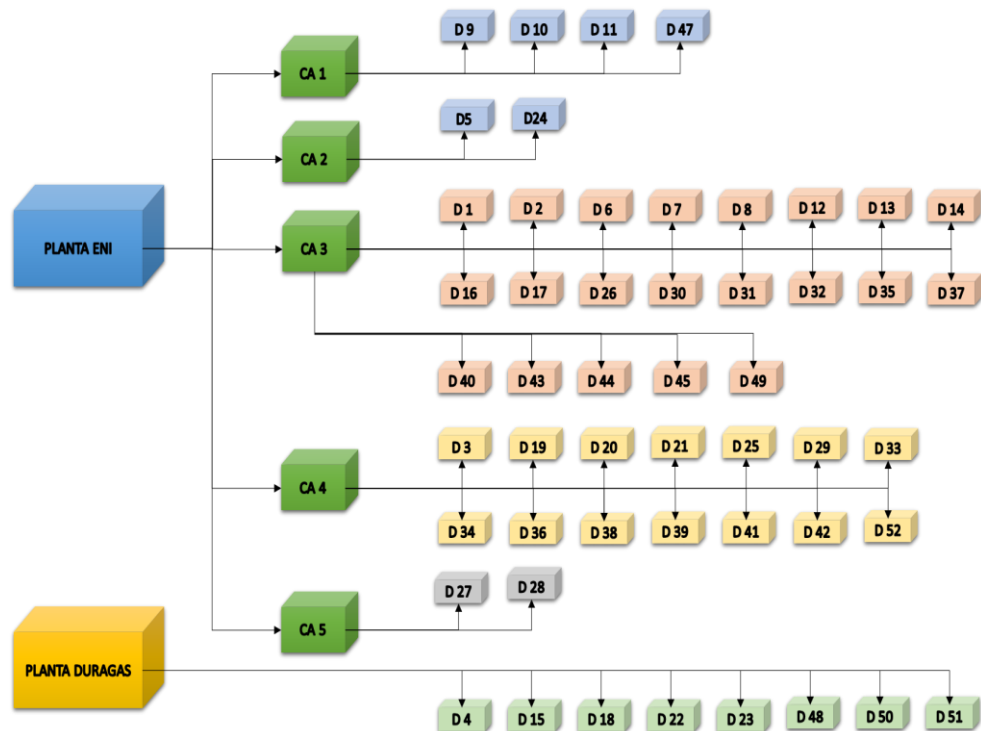
El programa QGIS presenta varias ventajas frente a programas de pago como es el caso de Arc GIS, empezando por el factor económico, en este caso se posee un software de uso libre y totalmente accesible por cualquier persona que tiene una gran versatilidad al momento de trabajar con varios formatos de archivo ráster y vectorial a través de bibliotecas, de igual manera permite la conexión con otros sitios, es así que se logró la conexión con los datos del Geo Portal del Distrito Metropolitano de Quito y Google Maps.

3.1.5.2. Modelo de la red de distribución actual

Conforme a la infraestructura identificada y analizada, así como la configuración y rutas de la red de distribución determinadas, se presenta a continuación el modelo de red actual que permitió determinar su tipo y los indicadores referentes al abastecimiento.

Figura 24.

Diagrama actual de la Red de abastecimiento de la Parroquia Calderón



3.1.5.3. Identificación del tipo de Red

Una vez establecido el modelo de la red actual visualizada en la Figura 24, conforme a la configuración de abastecimiento, se determinó dos tipos de red: La primera, consiste en la red con todos sus eslabones, es decir, el glp se envasa en la planta, después se lo transporta al acopio y finalmente a los depósitos; la segunda, corresponde al abastecimiento realizado por la planta Duragas que actualmente está abasteciendo directamente a 8 depósitos de la parroquia. Los dos tipos de redes identificadas se detallan a continuación:

Planta ENI – Centros de Acopio – Depósitos de distribución

Esta red inicia en el envasado de los cilindros en la Planta Eni, ubicada en Pifo, una vez que los vehículos, propiedad de los centros de acopio, han esperado su turno que de acuerdo con lo verificado en la planta ENI puede existir una espera de hasta 20 horas desde que el vehículo ha llegado a la planta, se procede a la carga de cilindros en los vehículos con el objetivo de retornar a sus respectivos centros de acopio.

Una vez que los cilindros se encuentran almacenados en los centros de acopio, los vehículos de distribución, propiedad de los depósitos, proceden a retirar el producto y llevarlo a cada uno de los depósitos con el objetivo de posterior a la descarga de los cilindros puedan abastecer a la población de la parroquia de Calderón, tal como se observa en la Figura 25.

Figura 25.

Diagrama de red de abastecimiento de planta de envasado a centro de acopio a depósito



Planta Duragas – Depósitos de distribución

Esta red inicia en el envasado de los cilindros en la Planta Duragas, ubicada en Pífo, una vez que los vehículos, propiedad de los depósitos de distribución, han esperado su turno que de acuerdo con lo verificado en la planta puede existir una espera de hasta 8 horas desde que el vehículo ha llegado a la planta, se procede a la carga de cilindros en los vehículos con el objetivo de retornar a sus respectivos depósitos.

Como se puede visualizar en la Figura 26, una vez que los cilindros han sido descargados en el depósito, pueden ser distribuidos a la población de la parroquia de Calderón directamente en la infraestructura o en los vehículos disponibles para el reparto. Cabe mencionar que este tipo de distribución está siendo eliminada considerando que el marco legal no lo permite.

Figura 26.

Diagrama de red de abastecimiento planta de envasado a depósito



Una vez visualizadas y analizadas las dos redes y conforme a la revisión bibliográfica realizada en este trabajo, se determinó que las redes corresponden al tipo “Almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio” enunciado por Sunil Chopra, cuyo diagrama está representado en la Figura 9.

En el caso de la red registrada de la Planta Duragas no utiliza centros de acopio y acumula vehículos directamente en la planta, esto puede tener un efecto muy negativo en el momento que el exceso de vehículos de menor capacidad represente retrasos para los vehículos que abastecen a los centros de acopio.

3.1.5.4. Indicadores de desempeño

Para los dos tipos de red identificados en el modelo actual de distribución y conforme la bibliografía de este trabajo se determinó que los indicadores fundamentales en un enfoque a garantizar el abastecimiento están enmarcados en los factores de servicio como son: el tiempo de respuesta que involucra la optimización de rutas para lograr una mayor eficiencia, respecto a la disponibilidad de producto se evaluó a través de los indicador de utilización, para determinar el uso eficiente de capacidad de infraestructura y el indicador de transporte llamado fracción transportada por modo, que permitió evaluar la eficiente utilización de los medios de transporte.

3.1.6. Optimización de la red de distribución de gas licuado de petróleo

Una vez determinada, caracterizada y visualizada la red de distribución del glp en cilindros de la parroquia Calderón actual y conforme al modelo elaborado (Figura 24), se pudo identificar el tipo de red y los indicadores que sirven para la medición de su desempeño que son concordantes a evaluar el abastecimiento (utilización de la capacidad de almacenamiento y fracción transportada por modo).

La optimización de la red de distribución se realizó en dos fases: en la primera se utilizó el software POM QM para mediante la optimación de distancias, hallar la ruta más eficiente hacia cada depósito y como segunda fase la correlación entre las capacidades de la actual infraestructura instalada.

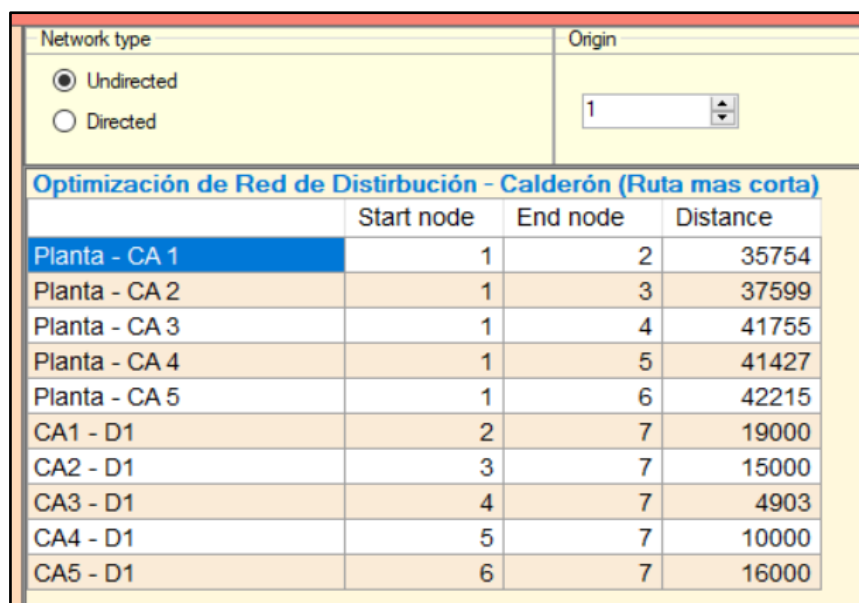
3.1.6.1. Ruta más corta

Se elaboró una matriz de distancias existentes entre la infraestructura de distribución que fue geolocalizada considerando el siguiente orden de red: planta de envasado, centro de acopio y depósito de distribución. (Anexo III)

Se aplicó el algoritmo de ruta más corta (algoritmo de Dijkstra) en la matriz mencionada a través del software *Production and Operations Management - Quantitative Methods*, POM – QM. En la Figura 27 se puede visualizar el ingreso de distancias entre los nodos y se obtuvo las rutas más eficientes en términos de distancias a nivel de todo el abastecimiento de la parroquia de Calderón.

Figura 27.

Ingreso de configuración de nodos en POM-QM



The screenshot shows the 'Network type' section with 'Undirected' selected and 'Origin' set to 1. Below this is a table titled 'Optimización de Red de Distribución - Calderón (Ruta mas corta)' with columns for Start node, End node, and Distance. The table lists 11 routes from plants to distribution centers.

	Start node	End node	Distance
Planta - CA 1	1	2	35754
Planta - CA 2	1	3	37599
Planta - CA 3	1	4	41755
Planta - CA 4	1	5	41427
Planta - CA 5	1	6	42215
CA1 - D1	2	7	19000
CA2 - D1	3	7	15000
CA3 - D1	4	7	4903
CA4 - D1	5	7	10000
CA5 - D1	6	7	16000

En este caso de acuerdo con lo establecido para la programación lineal se planteó como función objetivo la minimización de la distancia recorrida entre los nodos de la red de cada depósito y las restricciones que se presentan son las distancias existentes entre cada nodo.

En la Figura 28 se observa la obtención de la ruta más eficiente entre la Planta de envasado y el Depósito 1.

Figura 28.

Cálculo de la ruta óptima entre Planta y el Depósito 1

Optimización de Red de Distribución - Calderón (Ruta mas corta) solution				
Total distance = 46658	Start node	End node	Distance	Cumulative Distance
Planta - CA 3	1	4	41755	41755
CA3 - D1	4	7	4903	46658

Cabe aclarar que debido a que las distancias entre las plantas de ENI y Duragas respecto a los centros de acopio son las mismas, se unificó como un solo nodo a las dos plantas para los respectivos cálculos, es decir las distancias totales optimas se definieron como la suma de las distancias entre las plantas a los centros de acopio y la distancia del centro de acopio a cada depósito. La simulación se realizó para cada uno de los 52 depósitos de distribución y se obtuvo la optimización de 28 rutas, las que su distancia y porcentaje de optimización se detalla en la Tabla 30.

Tabla 30.

Distancias totales óptimas de la red optimizada

Centro de Acopio	Depósito Distribución	Distancia Total Optima calculada (m)	Porcentaje optimizado de distancia inicial
CA 2	D9	37 613	-25%
CA 3	D51	43 220	-50%
CA 3	D29	43 294	-12%
CA 3	D50	43 306	-50%
CA 3	D34	43 459	-8%
CA 3	D25	43 667	-9%
CA 3	D22	43 668	-49%
CA 3	D4	43 755	-46%
CA 3	D15	43 764	-50%
CA 3	D41	43 764	-7%
CA 3	D10	43 837	-15%
CA 3	D23	44 229	-50%
CA 3	D52	44 269	-5%
CA 3	D39	44 302	-11%
CA 2	D2	44 599	-5%
CA 3	D47	44 746	-10%
CA 3	D3	44 755	-3%

CA 3	D38	44 755	-7%
CA 3	D20	44 794	-8%
CA 3	D48	45 026	-46%
CA 2	D33	45 141	-5%
CA 3	D28	45 395	-17%
CA 3	D5	45 755	-6%
CA 3	D27	46 109	-17%
CA 1	D26	46 754	-1%
CA 3	D42	46 971	-8%
CA 3	D19	47 785	0%
CA 1	D18	48 754	-43%
CA 3	D21	49 637	-0,2%

3.1.6.2. Correlación de Variables

Optimizadas las rutas de distribución se procedió a correlacionar las variables analizadas previamente que se enmarcan en el eficiente abastecimiento y los indicadores de desempeño determinados para este tipo de red de distribución. Para este modelo los indicadores son: respecto a la capacidad, la utilización de las instalaciones (almacenamiento) y respecto al transporte, la fracción transportada por modo que se evaluaron y permitieron evidenciar las rutas que, a pesar de su distancia optimizada, no son eficientes en cuanto a sus recursos de almacenamiento y transporte.

Las variables de los depósitos de distribución seleccionadas para su relación y optimización son: capacidad de almacenamiento (AL) y capacidad de transporte (TR) que fueron relacionadas a través de un diferencial absoluto que permitió determinar los depósitos con la mejor relación (menor diferencial), que significa el equilibrio entre las capacidades tanto de almacenamiento como de transporte.

Cabe recalcar que la capacidad de reparto de un depósito de distribución está determinada por la menor de sus capacidades (almacenamiento o transporte), considerando que es la cantidad máxima que podrá ser transportada. En la Tabla 31 se visualiza los diferenciales obtenidos en cada depósito de distribución.

Tabla 31.*Correlación de variables de almacenamiento y transporte*

Depósito de Distribución	Capacidad de almacenamiento (cilindros) [AL]	Capacidad de Transporte (cilindros) [TR]	Diferencial Almacenamiento / Transporte (cilindros)
D5	234	239	5
D4	360	380	20
D2	324	303	21
D3	288	310	22
D7	252	228	24
D38	180	152	28
D14	234	267	33
D32	324	287	37
D9	288	250	38
D33	198	154	44
D29	180	225	45
D17	252	206	46
D21	270	317	47
D42	234	187	47
D51	324	376	52
D43	270	217	53
D34	324	378	54
D24	306	367	61
D37	216	154	62
D1	270	183	87
D44	198	287	89
D22	252	341	89
D19	252	160	92
D20	360	267	93
D27	216	317	101
D49	180	70	110
D13	180	292	112
D41	288	167	121
D16	306	180	126
D30	270	400	130
D50	306	445	139
D12	324	180	144
D35	216	70	146
D31	216	364	148
D48	360	210	150
D23	180	338	158
D6	252	83	169
D47	306	133	173
D52	324	150	174
D39	342	163	179

D11	306	117	189
D45	324	117	207
D8	324	115	209
D28	306	527	221
D40	324	93	231
D10	288	44	244
D15	324	580	256
D36	342	67	275
D26	180	617	437
D18	216	857	641

La estimación de la demanda para el año 2020 determinó que se requiere un despacho de 1 737 279 cilindros, que en términos de demanda diaria son 5 568 cilindros, que deberán ser abastecidos por los depósitos de distribución seleccionados.

La selección de los depósitos de distribución que serán parte de la red óptima se realizó considerando los menores diferenciales entre capacidades (almacenamiento o transporte) y el número de depósitos serán seleccionados de acuerdo con la demanda antes mencionada, es decir la capacidad de reparto diaria acumulada de los depósitos seleccionados debe ser igual o mayor a la demanda estimada para la parroquia de Calderón para el año 2020

En la tabla 32 se observa la elección de los 24 depósitos que registran el menor diferencial y poseen una capacidad de abastecimiento en total diaria de 5 717 cilindros. Cabe aclarar que su capacidad total de almacenamiento es de 6390 cilindros, es decir existe flexibilidad en la capacidad de almacenamiento en concordancia a un incremento en la demanda estimado. En la Figura 29 se visualiza la geolocalización de la red optimizada y en la Figura 30 se muestra el diagrama de la red optimizada.

Tabla 32.

Selección de depósitos de glp para la red óptima

Depósito de Distribución	Capacidad de almacenamiento (cilindros)	Capacidad de Transporte (cilindros)	Capacidad de Reparto Óptima (cilindros)
D9	288	250	250
D24	306	367	306
D7	252	228	228
D51	324	376	324
D29	180	225	180
D34	324	378	324

D14	234	267	234
D22	252	341	252
D4	360	380	360
D37	216	154	154
D2	324	303	303
D3	288	310	288
D38	180	152	152
D20	360	267	267
D33	198	154	154
D43	270	217	217
D5	234	239	234
D32	324	287	287
D1	270	183	183
D42	234	187	187
D19	252	160	160
D44	198	287	198
D21	270	317	270
D17	252	206	206
Capacidad total:	6 390	6 233	5 717

Figura 29.

Geolocalización de la Red Optimizada

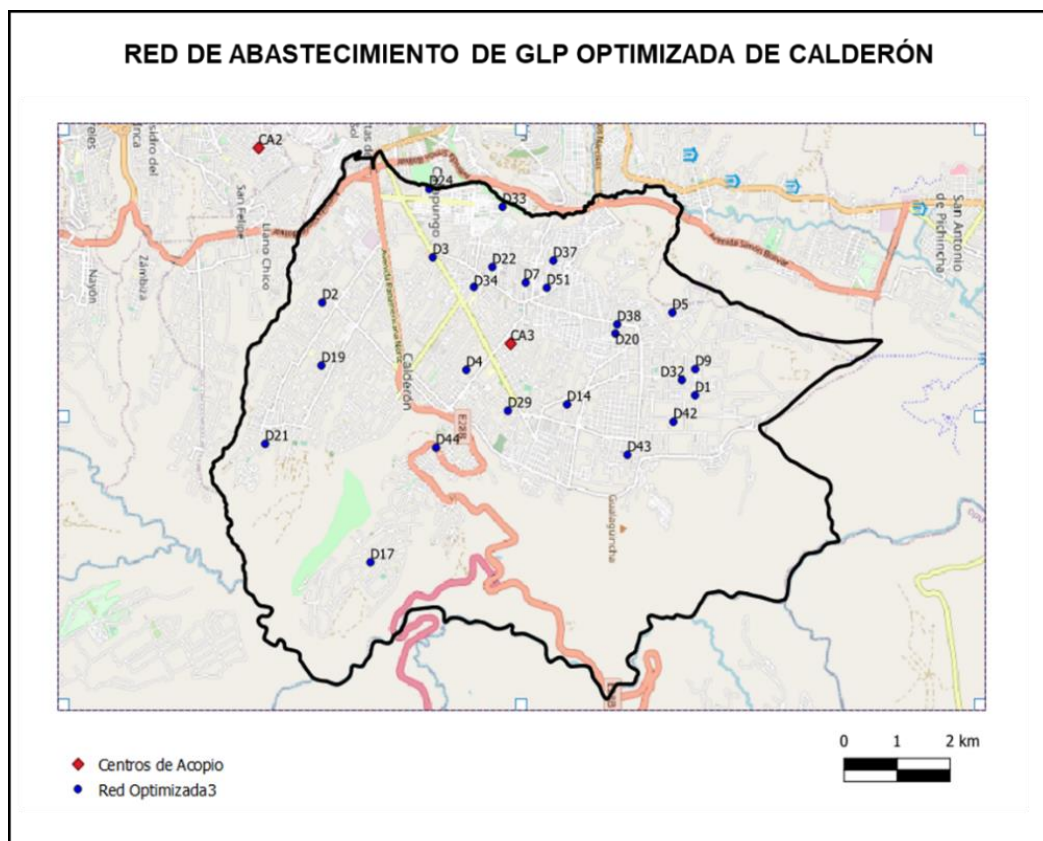
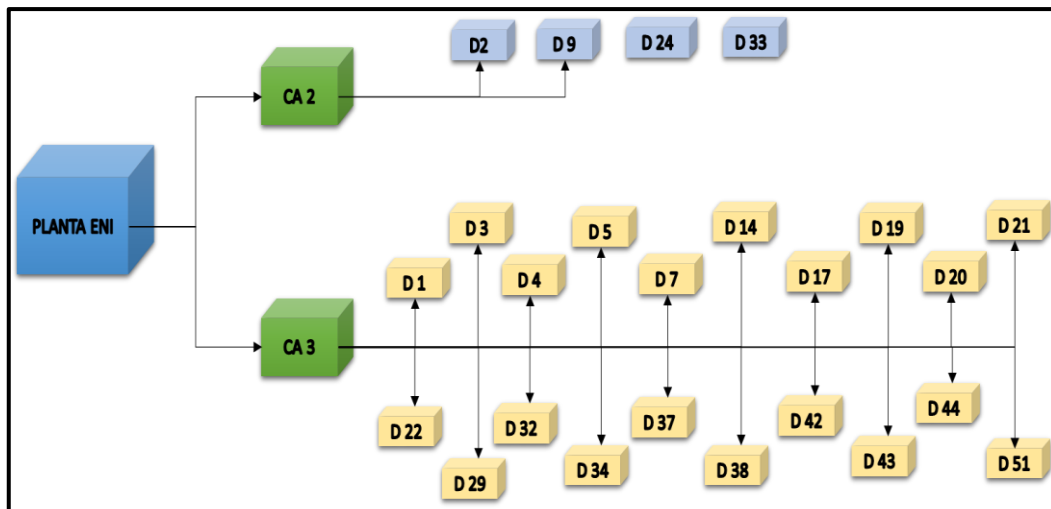


Figura 30.

Diagrama de la Red Optimizada



Nota. Las diversas etapas de optimización han permitido que la red de distribución sea eficiente y se reduzca el tamaño de la infraestructura inicial usada.

3.1.6.3. Evaluación de la Red Actual y su Optimización

Para la evaluación de la red actual y la red optimizada conforme a los indicadores de desempeño establecidos para esta red referente a almacenamiento y transporte se establecieron las siguientes condiciones generales para las dos variables:

- La red será evaluada en un comportamiento diario, es decir tanto los indicadores de desempeño como las variables de la infraestructura son expresadas en términos de un día con el objetivo de diariamente tener un despacho ordenado y regulable.
- Para la evaluación de los indicadores se considera solo la demanda de los depósitos de distribución de GLP en cilindros de la parroquia Calderón y que el mecanismo de abastecimiento es que es mediante el retiro de los centros de acopio y la descarga completa en el almacenamiento disponible del depósito para luego ser distribuida a la población en general.
- Los indicadores de desempeño han sido aplicados a la infraestructura que tiene relación directa con la distribución de la parroquia de Calderón, es decir se ha descartado de la evaluación a las Plantas de Envasado, considerando que la utilización

de esta infraestructura depende del abastecimiento a todos los centros de acopio del Distrito Metropolitano de Quito. Sin embargo, de la visita realizada a las Plantas, estas se encuentran funcionando aproximadamente al 70% de su capacidad, es decir que su producción es flexible y puede incrementar o disminuir conforme la demanda que se registre.

3.1.6.4. Evaluación de Capacidad - Utilización

Mediante el indicador de desempeño de utilización se evaluó la fracción de la capacidad de almacenamiento que se utiliza en la instalación, es decir se evaluó a los centros de acopio y depósitos de distribución conforme a la utilización que generó la optimización de la red de distribución de gas licuado de petróleo en la parroquia de Calderón. En las Tablas 33, 34 y 35 se puede observar la utilización en los años 2018, 2019 y 2020, respectivamente.

Tabla 33.

Evaluación de la utilización de los Centros de Acopio - 2018

Centros de Acopio	Capacidad de Almacenamiento (cilindros)	Demanda diaria 2018 (cilindros)	Utilización 2018
CA 1	2 500	261	10,4%
CA 2	3 200	233	7,3%
CA 3	5 700	2 094	36,7%
CA 4	3 900	1 029	26,4%
CA 5	6 500	239	3,7%

Tabla 34.

Evaluación de la utilización de los Centros de Acopio – 2019

Centros de Acopio	Capacidad de Almacenamiento (cilindros)	Demanda diaria 2019 (cilindros)	Utilización 2019
CA 1	2 500	259	10,3%
CA 2	3 200	174	5,4%
CA 3	5 700	2 323	40,7%
CA 4	3 900	1 246	31,9%
CA 5	6 500	200	3,1%

Tabla 35.*Evaluación de la utilización de los Centros de Acopio – 2020*

Centros de Acopio	Capacidad de Almacenamiento (cilindros)	Demanda diaria 2020 (cilindros)	Utilización 2020
CA 1	2 500	FUERA DE RED OPTIMIZADA	
CA 2	3 200	1 013	31,7%
CA 3	5 700	4 704	82,5%
CA 4	3 900	FUERA DE RED OPTIMIZADA	
CA 5	6 500	FUERA DE RED OPTIMIZADA	

Como se puede observar para el 2020 los centros de acopio 1,4 y 5 ya no son parte del abastecimiento de la parroquia de Calderón y se registra una utilización máxima en el Centro de Acopio 3 con un 82,5% de utilización en su almacenamiento.

Respecto a los depósitos de distribución se realizó el cálculo de la utilización para el año 2020 con la capacidad de reparto determinada previamente, es decir que con los 5 717 cilindros se garantiza el abastecimiento a toda la parroquia de Calderón y se da flexibilidad a la distribución. En la Tabla 36 se presenta la utilización de cada depósito de distribución y se determinó que en promedio la utilización de la red optimizada es del 89%.

Tabla 36.*Utilización de la capacidad de Almacenamiento de los Depósitos de Distribución*

Depósitos de Distribución	Capacidad de Almacenamiento (cilindros)	Capacidad Reparto 2020 (cilindros)	Utilización 2020
D5	234	234	100%
D4	360	360	100%
D2	324	303	94%
D3	288	288	100%
D7	252	228	90%
D38	180	152	84%
D14	234	234	100%
D32	324	287	88%
D9	288	250	87%
D33	198	154	78%
D29	180	180	100%
D17	252	206	82%
D21	270	270	100%
D42	234	187	80%

D51	324	324	100%
D43	270	217	80%
D34	324	324	100%
D24	306	306	100%
D37	216	154	71%
D1	270	183	68%
D44	198	198	100%
D22	252	252	100%
D19	252	160	63%
D20	360	267	74%

3.1.6.5. Evaluación Transporte – Fracción transportada

Mediante el indicador fracción transportada se evaluó en la red optimizada en cuanto a la eficiencia del transporte, relacionando la cantidad de cilindros que serán transportados en el 2020 (capacidad de reparto), respecto a la capacidad de transporte de los vehículos que pertenecen a los centros de acopio y depósitos de distribución. En las tablas 37,38 y 39 se puede observar la evaluación de la fracción transportada en los años 2018, 2019 y 2020, respectivamente.

Tabla 37.

Evaluación de la fracción transportada por los Centros de Acopio – 2018

Centros de Acopio	Capacidad de Transporte (cilindros)	Demanda diaria 2018 (cilindros)	Fracción Transportada 2018
CA 1	2 700	261	9,7%
CA 2	3 500	233	6,7%
CA 3	5 650	2 094	37,1%
CA 4	6 230	1 029	16,5%
CA 5	5 160	239	4,6%

Tabla 38.

Evaluación de la fracción transportada por los Centros de Acopio – 2019

Centros de Acopio	Capacidad de Transporte (cilindros)	Demanda diaria 2019 (cilindros)	Fracción Transportada 2019
CA 1	2 700	259	9,6%
CA 2	3 500	174	5,0%
CA 3	5 650	2 323	41,1%
CA 4	6 230	1 246	20,0%
CA 5	5 160	200	3,9%

Tabla 39.*Evaluación de la fracción transportada por los Centros de Acopio – 2020*

Centros de Acopio	Capacidad de Transporte (cilindros)	Capacidad de Reparto 2020 (cilindros)	Fracción Transportada 2020
CA 1	2 700	Fuera de Red Optimizada	
CA 2	3 500	1 013	28,9%
CA 3	5 650	4 704	83,3%
CA 4	6 230	Fuera de Red Optimizada	
CA 5	5 160	Fuera de Red Optimizada	

Como se puede observar para el 2020 los vehículos de los centros de acopio 1,4 y 5 ya no participan en los procesos de transporte de glp en la parroquia de Calderón. Se registra una fracción transportada máxima en el Centro de Acopio 3 de 83,3%.

Respecto a los vehículos de los depósitos de distribución se realizó el cálculo de la fracción transportada para el año 2020 con la capacidad de reparto determinada previamente ya que se con los 5717 cilindros se garantiza el abastecimiento a toda la parroquia de Calderón y se da flexibilidad a la distribución. En la Tabla 40 se presenta la fracción transportada por los vehículos de cada depósito de distribución y se determinó que existe un promedio de fracción transportada en la red optimizada del 93%.

Tabla 40.*Fracción transportada de la red óptima*

Depósitos de Distribución	Capacidad de Transporte (cilindros)	Capacidad de Reparto 2020 (cilindros)	Fracción transportada 2020
D5	239	234	98%
D4	380	360	95%
D2	303	303	100%
D3	310	288	93%
D7	228	228	100%
D38	152	152	100%
D14	267	234	88%
D32	287	287	100%
D9	250	250	100%
D33	154	154	100%
D29	225	180	80%
D17	206	206	100%
D21	317	270	85%

D42	187	187	100%
D51	376	324	86%
D43	217	217	100%
D34	378	324	86%
D24	367	306	83%
D37	154	154	100%
D1	183	183	100%
D44	287	198	69%
D22	341	252	74%
D19	160	160	100%
D20	267	267	100%

3.2. Discusiones

Actualmente los mapas y software de libre acceso disponibles en los portales web, así como la información georreferenciada de infraestructura de distribución que puede ser obtenida a través de un dispositivo GPS permitieron que sea posible la visualización de la red actual de la parroquia Calderón que se compone de 2 plantas de envasado, 5 centros de acopio y 52 depósitos de distribución. En varias zonas de la parroquia de Calderón se visualiza una acumulación de depósitos de distribución, que han sido resultado de iniciativas comerciales de personas particulares interesadas en este negocio más que de una planificación, es necesario recalcar que se trata un combustible subsidiado y cualquier distorsión en su comercialización presenta afectación al Estado.

El comportamiento de la demanda de gas licuado de petróleo en los depósitos de distribución de los años 2018 y 2019 se ha observado que es similar, por lo que el ajuste al pronóstico se realizó mediante suavizado exponencial con esta consideración y permitió estimar la demanda en la parroquia Calderón para el año 2020 de 1 737 279 cilindros, sin embargo, esta demanda estimada puede verse distorsionada por factores como el desvío o cambios en el precio de este combustible.

La optimización de la red de distribución significa una reducción de la infraestructura del 57% de la actual, así como la reducción en las distancias en 29 rutas de distribución, que en total representan 417 kilómetros menos de recorrido por los vehículos de distribución, así también la red de abastecimiento de la parroquia se ha limitado a 2 centros de acopio y 24 depósitos de distribución, que cumplen con la optimización de su ruta por distancia más corta y poseen la relación más eficiente entre sus capacidades de transporte y almacenamiento que lograrían satisfacer la demanda planteada para el año 2020.

La evaluación de la red de distribución se realizó a partir de los indicadores de desempeño seleccionados (Utilización de la capacidad de almacenamiento y Fracción transportada) que responden a las variables de abastecimiento y al tipo de red identificada (Almacenamiento con el distribuidor con entrega a domicilio). La red optimizada registra en el indicador de utilización de la capacidad de almacenamiento un 89% en los depósitos de distribución y, con respecto al indicador fracción transportada se registra un 93%, es decir la red optimizada significa la reducción y el uso eficiente de los recursos disponibles para el abastecimiento.

La aplicación teórica de esta optimización evidencia una oportunidad para alcanzar altos niveles de servicio y eficiencia utilizando los recursos que actualmente posee la cadena, sin embargo, se tiene que considerar que para su viabilidad práctica existirían limitaciones en el contexto legal, comercial y de infraestructura de la red que responden a la realidad del Ecuador.

La viabilidad presentaría ciertas restricciones: en el apartado legal, la eliminación de depósitos de distribución representaría eliminación de derechos comerciales a los propietarios de esta infraestructura, sin embargo, la entidad encargada de la regulación y control (ARCH) de estas actividades podría ajustar los cupos de estos depósitos con el fin que se vuelvan centros de abastecimiento menores que únicamente atiendan desde el local.

En el aspecto legal y comercial los centros de acopio actualmente pertenecen a una sola comercializadora, es decir que el producto solo podría ser retirado desde la Planta Eni Pifo y no se aprovecharía la capacidad disponible evidenciada de la planta Duragas. De acuerdo con la investigación realizada se informó que ya existen propuestas para que los centros de acopio acojan a más de una comercializadora.

4. CONCLUSIONES

La disponibilidad actual de programas computacionales que permiten la optimización de recursos y aumento de la eficiencia en los procesos de distribución presenta una oportunidad fundamental para mejorar técnicamente los procesos de distribución de combustible en el país.

La red de distribución actual fue modelada y en su análisis se pudo evidenciar que la implantación de depósitos de distribución hasta el momento no ha obedecido a una planificación o parámetros técnicos, es por esto que se visualiza 52 depósitos en la parroquia Calderón, con zonas de excesiva saturación de infraestructura que ha provocado una sobre oferta y un desorden en la distribución del gas licuado de petróleo doméstico causando un desvío en el consumo al sector industrial implicando una afectación al Estado.

La estimación de la demanda para realizar una optimización de una red distribución es fundamental. El análisis del comportamiento de los datos disponibles y la selección del método de pronóstico, que debe ser concordante con los patrones observados y analizados, permitieron mediante el método del suavizado exponencial estimar una demanda de 1 737 279 cilindros para el año 2020, esta demanda permitió realizar los ajustes la optimización de la red.

La optimización de red de distribución de gas licuado de petróleo de la parroquia Caderón a través del algoritmo de ruta más corta y la correlación de variables que influyen en el abastecimiento ha evidenciado que es necesaria una reducción de la infraestructura del 57 % y una reducción de 417 kilómetros en recorrido tentativo por los vehículos de distribución para el abastecimiento de esta Parroquia, que si bien representa el uso eficiente de los recursos disponibles, se tendría limitaciones desde el contexto legal, comercial y de infraestructura para su aplicación.

Los indicadores de desempeño fueron fundamentales para la optimización de la red de distribución, se seleccionaron desde la identificación del tipo de red y permitieron la evaluación de los modelos actual y optimizado.

La optimización se lo tiene que ejecutar desde lo teórico a lo legal y consecuentemente a lo práctico, es decir la legislación nacional debe fomentar un análisis y determinación de la red de distribución con base a parámetros técnicos de abastecimiento y optimización para plasmarlos a través de disposiciones legales con el fin que exista cumplimiento de los actores y de la red concluyendo en un beneficio directo al consumidor y al Estado.

5. RECOMENDACIONES

La obtención de información de la infraestructura requiere las visitas técnicas correspondientes. La presencia en las instalaciones que realizan la distribución permite detectar singularidades como preferencias comerciales, características inherentes a la comercialización como fue el caso de los diámetros de distribución, especialmente en cadenas que no se encuentran limitadas por su legislación.

Las distancias entre los nodos de distribución para determinar las rutas más cortas deben ser determinada a través del software que permita obtener en tiempo real las condiciones que afectan a la red de distribución.

Debe ampliarse la investigación hacia las otras parroquias con el objetivo de determinar una optimización general de toda la red de distribución, considerando que es una red que está conectada por nodos en común que abastecen a varias zonas.

El gas licuado de petróleo es un combustible de un sector estratégico que es la comercialización de combustibles y tiene un considerable componente subsidiado por el Estado, por lo tanto, la optimización de su distribución y comercialización es un proceso que se recomienda ejecutar para evitar pérdidas económicas por desvío del producto.

La optimización de las redes de distribución debe realizarse considerando su demanda futura, la correlación de variables que afectan el abastecimiento, los indicadores de desempeño y el tipo de red identificada, con el objetivo de obtener una optimización total que cumpla con los niveles de servicio esperados, así como el uso eficiente de los recursos disponibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, M. J. (2009). Calificación del Método de Pronóstico de Torres. *Poliantea*, 175-201.
- Alvarado Boirivant, J. (2009). Programación Lineal Aplicación de las Pequeñas y Medianas Empresas. *Reflexiones*, 89-105.
- Ballou, R. (2004). *Logística, Administración de la cadena de suministro*. México: Pearson Educación.
- Castillo, E., Conejo, A., Alguacil, N., Pedregal, P., & García, R. (2002). *Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia*. Castilla: Universidad de Castilla-La Mancha.
- Cedeño, Z., & Villacrés, M. (Septiembre de 2013). ESTIMACIÓN DEL PERJUICIO AL ESTADO CAUSADO POR EL SUBSIDIO OTORGADO AL CONSUMO DEL GAS LICUADO DE PETRÓLEO O GLP EN EL ECUADOR Y LA INCIDENCIA DE SU COMERCIO IRREGULAR HACIA COLOMBIA Y PERÚ. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Administración de la Cadena de Suministro*. México: Pearson Education.
- Cortez, L. (2012). Diseño de Cubo de Información que permita medir la Gestión Operativa del proceso del Gas licuado de Petróleo en la estación Salitral. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Creamer Guillén, B., & Becerra Robalino, R. (2016). Cuantificación de los subsidios de derivados del petróleo a los hidrocarburos en el Ecuador. *Petróleo al día*, 9-26.
- Dalla Costa, B. O. (2011). *Alquilación de Isobutano con Olefinas: Estudio de Catalizadores Sólidos Ácidos (Tesis de Doctorado)*. Universidad Nacional del Litoral, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica.
- Escobar, J. W. (2013). Rediseño de una red de distribución con variabilidad de demanda usando la metodología de escenarios. *Facultad de Ingeniería*, 9-19.
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. (2010). *Memoria Explicativa del Tipo de Buque y Servicio al que se destina*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, Madrid.
- Espinoza Echeverría, S., & Guayanlema, V. (2017). *Balance y proyecciones del sistema de subsidios energéticos en Ecuador*. Quito: Friedrich-Ebert-Stiftung.

- Farhad, K., & Hamid, D. (2012). Stochastic programming approach to re-designing a warehouse network under uncertainty. *Transportation Research Part E*, 919–936.
- Gámez Albán, H. M. (2017). Diseño de una red de distribución a través de un modelo de optimización considerando agotados. *Ingeniare* 25, 619-632.
- García, A. (27 de Agosto de 2019). Ciudadanos venezolanos que no aplican a la amnistía migratoria pueden tramitar otros tipos de visa en Ecuador. *El Comercio*.
- Hamilton Wilson, M. (2005). *Formulación y evaluación de proyectos tecnológicos empresariales aplicados*. Bogota: Convenio Andrés Bello.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2010). *Introduction to operations research*. México: McGraw-Hill.
- Hofacker, A. (2008). *Rapid lean construction - quality rating model*. Manchester: s.n.
- Klose, A., & Drexler, A. (2005). Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*, 4-29.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Finland: VTT Building Technology.
- Kotler, P. (2001). *Dirección de Mercadotecnia*. Lima: Pearson Education.
- Microsoft. (2 de Marzo de 2020). *Soporte Microsoft*. Obtenido de <https://support.office.com/es-es/article/pronostico-funci%C3%B3n-pronostico-50ca49c9-7b40-4892-94e4-7ad38bbeda99>
- Ministerio para la Transición Ecológica. (s.f.). *Gases Licuados del Petróleo*. Recuperado el 14 de octubre de 2019, de <https://energia.gob.es/GLP/Paginas/Index.aspx>
- Montesdeoca, D. (Febrero de 2013). Simulación de la Unidad de Reformado Catalítico de la Refinería Estatal Esmeraldas. Madrid, España.
- Paredes Roldán, J. (2001). *Planificación y control de la producción*. Cuenca: IDIUC, Instituto de Investigaciones, Universidad de Cuenca.
- Passamonti, F. J. (2008). *Nueva Metodología para la Evaluación de Catalizadores de Craqueo Catalítico de Hidrocarburos (Tesis de Doctorado)*. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe.
- Pavón, C., & Barzola, J. (2015). Estimación de la demanda energética mensual mediante encuesta aplicada en la Provincia de Santa Elena. *YACHANA*, 22-29.

- Rivera Camino, J., & de Garcillán López-Rua, M. (2012). *Dirección de Marketing: Fundamentos y aplicaciones*. Madrid: Esic Editorial.
- Rocha González, J. E., Gómez Triana, C. F., & Sánchez Caimán, P. J. (2014). Ruta más corta: soluciones algorítmicas para movilidad eficiente en la malla vial de Cundinamarca. Programación dinámica. *Épsilon* (23), 63-84.
- Sadrameli, S. M. (2016). Thermal/catalytic cracking of liquid hydrocarbons for the production of olefins: A state-of-the-art review II: Catalytic cracking review. *FUEL* 173, 285-297.
- Sánchez Torrubia, G., & Lozano Terrazas, V. (1995). Algoritmo de Dijkstra. Un Tutorial Interactivo. *Universidad Politécnica de Madrid*.
- Serrano Escudero, J. (2014). *Logística de Almacenamiento*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (Diciembre de 2015). PREVENCIÓN DE INCENDIOS. ALMACENAJE DE CILINDROS PARA GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP). REQUISITOS. Quito, Ecuador.
- Slack, N., Brandon Jones, A., & Johnston, R. (2013). *Operations Management*. Harlow: Pearson Education.
- Snyder, L. (2003). *Supply Chain Robustness and Reliability: Models and Algorithms*, Tesis de Doctorado. Northwestern University, Illinois.
- The International Council on Clean Transportation. (24 de Octubre de 2011). Introducción a la refinación del petróleo y producción de gasolina y diésel con contenido ultra bajo de azufre. Bethesda, Maryland, Estados Unidos.
- Vásquez, R. M. (2014). *Almacén de Clase Mundial*. Medellín: Esumer.
- Vidal Holguín, C. J. (2010). *Fundamentos de control y gestión de inventarios*. Cali: Universidad del Valle.
- Zapata Cortes, J. A. (2014). *Fundamentos de la gestión de inventarios*. Medellín: Centro Editorial Esumer.

ANEXOS

Anexo I. Demanda de Depósitos de Distribución 2018

Depósito de Distribución	ene.-18	feb.-18	mar.-18	abr.-18	may.-18	jun.-18	jul.-18	ago.-18	sep.-18	oct.-18	nov.-18	dic.-18	TOTAL
D10	1839	1437	1839	1229	1838	1728	1556	1692	1552	2070	1845	2015	20640
D4	3663	3451	4235	4550	3600	3888	4750	4673	4274	4377	4108	4398	49967
D6													0
D42	2977	2344	1490	1590	2123	1896	1668	1471	1709	2379	2393	2871	24911
D1	1175	865	705	1140	957	679	898	912	880	735	836	1238	11020
D12	923	523	1706	1132	1312	4150	5112	4337	4578	4507	4194	3918	36392
D5	819	691	980	971	1648	1549	1448	977	602	484	391	346	10906
D23	2088	2323	3276	2308	2720	1685	2091	2309	2215	2679	3186	1950	28830
D32	2267	2043	2411	2152	1788	1787	1803	1838	2111	2176	1837	2285	24498
D24	5050	4676	6105	5875	4850	5023	5836	3990	3450	3520	6055	7322	61752
D14	1491	1264	1632	1419	1423	1493	1701	1324	1452	1707	1651	1418	17975
D30	4607	3495	5645	5196	5226	4415	5900	6134	4899	5526	5427	6443	62913
D28	4710	3534	4818	4561	4900	4690	5090	4846	4217	4840	4801	4408	55415
D7	2229	1722	2336	1957	2612	2586	2269	2479	2335	2493	2487	2727	28232
D33	5715	4421	4200	3426	3629	3540	4066	2044	3474	4138	2847	4650	46150
D44	1724	1601	1356	1736	2197	2273	1861	2361	2618	3514	2975	2594	26810
D39	860	845	677	990	1409	1215	657	1623	1709	1219	354	1963	13521
D41	964	1307	1737	1481	1849	1788	840	573	1524	1584	1270	1763	16680
D16	2064	1880	2303	2212	2081	1862	1657	1302	1550	1889	1821	2167	22788
D21	5411	4155	5545	5166	5118	5027	5151	4186	3906	4931	3792	5310	57698
D35	1428	1556	1934	1824	1636	2253	1870	2079	1786	1036	1870	1825	21097
D36	641	613	745	478	642	677	636	430	501	595	306	494	6758
D48	4806	3480	4683	4194	4326	4210	3935	3700	4019	4135	3719	4154	49361

D50	1250	2019	1844	2003	1642	2756	4640	6848	4002	4836	3394	2740	37974
D15	2560	1993	4039	4074	6127	2424	2040	2203	2370	2258	1935	2608	34631
D3	1462	1355	960	920	1160	1057	835	884	1160	2043	1502	2557	15895
D43	697	673	1492	947	912	407	306	1788	2216	2156	1568	473	13635
D9	1946	1710	1944	1955	2164	1953	1826	1891	1650	2214	2068	2288	23609
D37	864	759	680	393	1237	875	791	869	700	806	763	780	9517
D13	6496	4359	4659	5417	6175	2952	3080	2788	2808	3636	3175	3126	48671
D45	1172	908	1908	1599	1353	1175	973	910	1037	936	912	984	13867
D49	1909	1803	1900	2108	2009	2248	2710	853	779	1155	1305	1683	20462
D47	1867	1371	1924	1712	1848	1777	1788	1641	1532	1456	1374	1194	19484
D20	2342	2050	2075	2204	2718	2180	2731	1962	1794	1562	1009	1797	24424
D52	3645	2704	2639	2866	2762	2871	2731	1408	2067	1499	1419	1699	28310
D27	1575	1370	2190	1840	1471	1586	1693	1602	1324	1571	1494	1422	19138
D40	1834	1498	1997	1868	1429	1613	2020	2021	1796	1813	1658	1838	21385
D19	1424	1054	1089	1311	1376	1224	1059	988	1244	1582	837	561	13749
D25	170	162	243	292	286	182	170	72	142	232	224	268	2443
D11	1588	1383	1530	1452	1506	1502	1376	1480	1434	1504	1415	1516	17686
D8	3118	2700	2160	3330	4840	6130	3841	3383	5011	4316	3706	3188	45723
D31	5905	5657	7787	7425	6460	6083	5394	5930	5749	6667	6925	11072	81054
D38	2580	2746	1819	2225	2591	2384	1510	1458	1063	1464	982	1637	22459
D51	3288	3879	4782	4905	5149	4153	3247	2294	2616	3574	5012	7042	49941
D18	2843	2083	2990	2662	2895	2744	2813	2621	2554	2701	2689	2484	32079
D17					1312	2040	1900	1955	1770	1830	2448	1810	15065
D2	3497	2933	3576	3343	2895	3655	3159	3174	3158	3603	2658	3700	39351
D26	1924	1749	2292	2101	2021	1752	1830	2177	1780	1951	1882	1940	23399
D29	1837	1343	1449	1591	1886	1672	1751	1258	1510	1583	1589	1595	19064
D34	1867	1986	2281	1764	2645	2862	3663	2153	2734	2803	2788	1551	29097
D22	5649	5213	6686	6251	6380	6040	5577	5314	4954	5468	4972	5080	67584
D46	8528	4872	4906	4833	2237	3351	4613	4396	5857	8659	9068	8218	69538

Anexo II. Demanda de Depósitos de Distribución 2019

Depósito de Distribución	ene.-19	feb.-19	mar.-19	abr.-19	may.-19	jun.-19	jul.-19	ago.-19	sep.-19	oct.-19	nov.-19	dic.-19	TOTAL
D10	1865	1588	1857	1746	1696	1671	1682	1702	2150	2361	1799	1986	22103
D4	4084	3387	4201	3706	3060	3145	3110	4172	4069	3619	1936	2699	41188
D6							1333	2753	1953	2931	1357	2271	12598
D42	2737	1800	2425	2720	1933	2573	2732	2620	2135	1700	2760	2603	28738
D1	867	758	809	1080	1199	950	1211	1273	1899	2241	1411	1711	15409
D12	3838	3166	3890	4287	3999	3958	4091	4044	3832	3925	3569	3565	46164
D5	534	625	486	610	620	520	605	672	684	704	1124	561	7745,2
D23	2055	2108	2437	3625	2934	2081	3058	2491	2953	3158	3363	2092	32355
D32	2084	2508	3570	4519	4616	3719	3723	3438	3536	3020	2721	3262	40716
D24	5589	4460	6072	4586	4777	4219	4099	5040	1529	2230	2738	1075	46414
D14	1654	1683	1828	2349	2266	2349	2223	1897	2065	2089	1612	2187	24202
D30	5298	4359	4963	5901	6747	5704	5773	6059	5815	6181	4982	5501	67283
D28	4069	3734	3707	3572	3154	2688	3132	3629	3109	2673	5211	5578	44256
D7	2395	2422	2599	2815	3425	3611	3632	3320	2769	3163	1603	1203	32957
D33	5167	4669	5178	5232	4321	4731	5031	3470	3388	3283	2689	2766	49925
D44	2627	2376	2688	2763	2730	2737	2867	2640	2652	3310	2677	2529	32596
D39	1789	1992	2250	2666	2396	2441	2195	2337	1483	2028	1402	1275	24254
D41	2232	2267	2594	2314	2125	2333	3040	2673	2218	2172	1886	1631	27485
D16	1879	1947	1989	2174	2130	1965	1825	1932	2056	2059	1826	2025	23807
D21	4626	4925	5942	6713	5900	6858	7398	6588	6302	6282	5937	6578	74049
D35	1637	1497	1488	1926	2172	681	2619	2069	2054	2183	1226	1493	21045
D36	540	494	611	600	583	576	673	538	589	795	567	554	7120
D48	3809	3787	5344	6034	5737	5848	5981	4731	4710	4939	4159	4521	59600
D50	2694	2549	3098	2916	2758	2473	2750	2461	2381	2279	1750	2100	30209
D15	2474	2429	2526	2089	2651	2914	3331	3985	3528	4023	3367	3278	36595

D3	2436	2347	2642	2680	2576	3096	3221	2236	2172	1704	2305	2634	30049
D43	190	382	482	478	1130	956	1266	1454	1803	2290	1264	1771	13466
D9	2035	1695	2132	1940	1923	1840	1870	2070	2136	2407	2167	2288	24503
D37	845	777	881	1225	1119	982	1435	1736	2114	2228	1783	2516	17641
D13	3291	2917	3301	4132	4557	3673	3949	3860	3542	3310	3121	2615	42268
D45	989	927	1005	1004	1013	1043	1126	820	849	1394	895	883	11948
D49	1888	1536	1994	2664	2789	2271	2088	1506	1919	2208	1778	1838	24479
D47	1602	1390	1437	1478	1637	1501	1601	1391	1208	1782	1349	1308	17684
D20	2893	2693	2892	3257	2621	3700	3413	2706	2573	2923	2473	2883	35027
D52	2019	2124	2592	2703	2358	2590	2893	2590	2422	2533	2114	2087	29025
D27	1639	1357	1366	1720	1645	1400	1754	1440	1530	1460	1189	1585	18085
D40	1710	1550	1627	1841	2032	1717	1764	1841	1724	1555	1569	1666	20596
D19	1368	1366	1218	1722	1269	1579	1583	1536	1422	2235	1260	1635	18193
D25	307	251	324	286	372	397	417	324	340	365	325	357	4065
D11	1434	1273	1362	1391	1330	1260	1318	1324	1535	1432	1425	1313	16397
D8	2549	2183	2437	1389	1429	1199	2451	1315	1708	1949	1574	1863	22046
D31	6825	5080	5434	5384	5487	5503	5435	5048	5148	5160	4271	4727	63502
D38	1561	1481	1530	1638	1317	1537	1664	1521	1696	1000	1535	1558	18038
D51	7579	5419	6358	6260	5944	6849	6755	7292	6382	7407	6655	6784	79684
D18	2792	2554	2521	2871	3044	2977	3513	3308	2467	4732	3114	2749	36642
D17	1870	1210	1911	2301	2403	2675	2567	2310	623	2227	1509	1789	23395
D2	4109	3999	4214	4561	5165	5010	5187	4630	4561	5297	4572	5228	56533
D26	1692	1646	1806	2004	1992	1728	1972	1758	1789	1640	1535	1805	21367
D29	1600	1606	1612	1618	1623	1629	1635	1640	1646	736	1707	1921	18973
D34	1673	1923	2117	2613	1950	2267	2250	2665	1632	2054	1262	1279	23685
D22	5397	4918	5191	5239	5563	5292	5373	5210	5030	5974	4462	4885	62534
D46	6327	7653	8667	12917	7040	6418	8177	7464	6823	5958	5980	7186	90610

Anexo III. Matriz de Distancias entre Centros de Acopio y Depósitos de distribución

	CENTROS DE ACOPIO				
Código	CA 1	CA 2	CA 3	CA 4	CA 5
D1	19000	15000	4903	10000	16000
D2	10000	7000	5292	7000	11000
D3	14000	11000	3000	4486	13000
D4	15000	12000	2000	9000	14000
D5	18000	11090	4000	9000	15000
D6	14000	12000	4310	9000	13000
D7	15000	11000	1236	6000	12000
D8	14000	12000	1566	9000	14000
D9	14121	13,83	4592	10000	16000
D10	16000	10969	2082	7000	12000
D11	10956	13000	8000	8000	14000
D12	15000	10000	2079	6000	12000
D13	16000	11000	2016	7000	13000
D14	16000	11000	1866	9000	15000
D15	15000	10000	2009	6000	12000
D16	13000	8000	2127	6000	12000
D17	20000	18000	9000	13000	19000
D18	13000	13000	8000	8000	14000
D19	12079	11301	6030	6537	13000
D20	17000	12000	3039	7143	14000
D21	14000	13000	7882	8294	14000
D22	13000	8000	1913	6348	12000
D23	14000	10000	2474	5000	11000
D24	11000	5311	4630	4457	10000
D25	16000	11000	1912	6382	11000
D26	11000	11000	5312	5974	11000
D27	18000	14000	4354	9000	13596
D28	18000	13000	3640	9000	12793
D29	15000	10000	1539	7681	14000
D30	19000	17000	8987	13000	18000
D31	13000	11000	4624	6000	12000
D32	19000	14000	4355	10000	16000
D33	13000	7542	3417	5893	13000
D34	13000	8000	1704	5736	13000
D35	17000	13000	3405	8000	14000
D36	12000	10000	6000	4910	11000
D37	15000	10000	2006	6000	12000
D38	17000	12000	3000	6913	14000
D39	16000	11000	2547	8557	15000
D40	15000	13000	2414	9000	14000
D41	13000	8000	2009	5480	13000

D42	20000	15000	5216	9695	17000
D43	17000	13000	3644	11000	14000
D44	17000	15000	6810	10000	16000
D45	18000	13000	2793	8000	14000
D47	14120	12000	2991	7000	13000
D48	14000	9000	3271	9000	14000
D49	15000	11000	1780	6000	12000
D50	16000	11000	1551	6000	12000
D51	15000	11000	1465	6000	12000
D52	12000	8000	2514	5152	13000