

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL DIESEL CON RESPECTO AL
GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP), PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN EL ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA
CATALINA

Nixon Andrés Millán García
Jorge Leonardo Rendón Tolentino

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Ambiental
Maestría en Tecnologías Limpias
Bogotá
2023

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL DIESEL CON RESPECTO AL
GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP), PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN EL ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA
CATALINA

Nixon Andrés Millán García
Jorge Leonardo Rendón Tolentino

Trabajo de grado para optar por el título de Magister en Tecnologías Limpias

Directora
Nidia Elena Ortiz Penagos
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Ambiental
Maestría en Tecnologías Limpias
Bogotá
2023

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
1. OBJETIVOS	11
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	11
2. ANTECEDENTES.....	12
3. MARCO TEÓRICO	15
3.1. Introducción a la generación de energía eléctrica en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	15
3.1.1. Características geográficas y energéticas del Archipiélago	15
3.1.2. Fuentes de energía utilizadas actualmente en la región	15
3.2. Gas licuado de petróleo (GLP) como alternativa al diésel en la generación de energía eléctrica.....	16
3.2.1. Características, propiedades y composición del gas licuado de petróleo (GLP)	16
3.2.2. Comparativa entre el GLP y el diésel como combustible	17
3.2.3. Ventajas y desventajas del GLP como sustituto del diésel en la generación de energía eléctrica	17
3.3. Eficiencia energética en la generación de energía eléctrica.....	18
3.3.1. Concepto y medidas de eficiencia energética.....	18
3.3.2. Métodos de evaluación de la eficiencia energética en sistemas de generación eléctrica	19
3.4. Análisis del contexto energético en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.....	20
3.4.1. Marco normativo y político en el sector energético del Archipiélago	20
3.4.2. Infraestructura existente para la generación de energía eléctrica en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	21
3.5. Experiencias y estudios previos sobre el uso de GLP en la generación de energía eléctrica.....	22
3.5.1. Casos de estudio de implementación de GLP en sistemas de generación eléctrica	22
3.5.2. Resultados y lecciones aprendidas de investigaciones similares.....	23
3.6. Impacto ambiental y sostenibilidad del uso de GLP en la generación de energía eléctrica.....	25
3.6.1. Ventajas ambientales del uso de GLP como combustible en comparación con el diésel	26
3.7. Consideraciones tecnológicas y logísticas para la implementación del GLP en la generación de energía eléctrica.	27
3.7.1. Requerimientos técnicos y adaptaciones necesarias en los sistemas de generación eléctrica.....	27
3.7.2. Infraestructura de suministro y almacenamiento de GLP en el Archipiélago	29
3.7.3. Viabilidad logística y costos asociados a la utilización de GLP en la generación de energía eléctrica	30

4. METODOLOGÍA.....	31
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	32
5.1. EVALUAR EL DESEMPEÑO DEL GLP Y EL DIESEL.....	32
5.1.1. Revisión teórica.....	32
5.1.2. Sustitución de combustible a GLP	36
5.2. REALIZAR ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DEL GLP Y EL DIESEL	39
5.2.1. Caracterización de la demanda energética.....	39
5.2.2. Costos del Diésel y el GLP	41
5.2.3. Costo del combustible para la generación de energía en San Andrés, Providencia y Santa Catalina.....	42
5.2.4. Costos del flete del Diésel y el GLP.....	43
5.2.5. Estructura tarifaria energía eléctrica en San Andrés y Providencia.....	46
5.2.6. Escenario 1: Análisis costo – beneficio, generación de energía eléctrica con GLP. 48	
5.2.7. Escenario 2: Análisis costo – beneficio, generación de energía eléctrica con GLP y estabilización de precios.	51
5.3. ANALIZAR LAS EMISIONES GENERADAS POR EL GLP Y EL DIÉSEL	55
6. IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO.....	59
7. CONCLUSIONES.....	60
8. RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS	62
ANEXOS	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Matriz capacidad de generación eléctrica en el SIN, diciembre de 2018.....	12
Ilustración 2. Demanda de energía en las ZNI por Departamento, año 2017	13
Ilustración 3. Consumo de GLP por sector: Mundial y Latinoamérica	13
Ilustración 4. Estructura institucional del sector eléctrico colombiano	21
Ilustración 5. Porcentaje de los componentes de los gases de escape de motores diésel	25
Ilustración 6. Declaración de producción de GLP.....	29
Ilustración 7. Ruta de GLP, San Andrés	30
Ilustración 8. Tanques de almacenamiento Islas 1 e Islas 2	30
Ilustración 9. Diagrama metodológico	31
Ilustración 10. Eficiencia energética en las plantas de San Andrés y Providencia	36
Ilustración 11. Distribución del consumo MWh/Mes en San Andrés y Providencia, por sector de consumo	40
Ilustración 12. Comportamiento compra del combustible	41
Ilustración 13. Galones de combustibles comprados y COP\$/Gal San Andrés	43
Ilustración 14. Galones de combustibles comprados y COP\$/Gal Providencia	43
Ilustración 15. Costos del flete del Diésel y el GLP	44
Ilustración 16. Costos del Diésel y sustitución a GLP (COP\$) para San Andrés	45
Ilustración 17. Costos del Diésel y sustitución a GLP (COP\$) para Providencia	45
Ilustración 18. Distribución CU (\$kWh) Nivel de tensión I	47
Ilustración 19. Ilustración 22. Distribución CU (\$kWh) Nivel de tensión II	48
Ilustración 20. CU (\$/kWh) COMPARATIVO - NIVEL I.....	49
Ilustración 21. CU (\$/kWh) COMPARATIVO - NIVEL II.....	49
Ilustración 22. Valor facturación por consumo y subsidios COP\$, por tipo de combustible Diésel y GLP, 2022.....	51
Ilustración 23. Escenario 2. costos del combustible Diésel y GLP (COP\$/gal).....	52
Ilustración 24. Escenario 2. CU (\$/kWh) COMPARATIVO - NIVEL I.....	53
Ilustración 25. Escenario 2. CU (\$/kWh) COMPARATIVO - NIVEL II	53
Ilustración 26. Escenario 2. Valor facturación por consumo y subsidios COP\$, por tipo de combustible Diésel y GLP, 2022	54
Ilustración 27. Toneladas CO2 archipiélago San Andrés y Providencia	56
Ilustración 28. Emisiones acumuladas de CO2.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. GLP Propiedades comparado con las propiedades del diésel.....	17
Tabla 2. Factores de emisión de carbono y por tipo de combustible	27
Tabla 3. Máquinas de combustión internas recomendadas por la WLPGA.....	28
Tabla 4. Especificaciones técnicas de máquinas de combustión interna	28
Tabla 5. Comparación de propiedades del diésel y GLP.....	32
Tabla 6. Capacidad instalada de generación en San Andrés - Punta Evans.....	34
Tabla 7. Capacidad instalada de generación en Providencia y Santa Catalina - Bahía Garett	34
Tabla 8. Resumen comparativo entre el diésel y GLP	38
Tabla 9. Promedio mensual de Costo/MWh.....	46
Tabla 10. Subsidios COP\$ San Andrés Providencia y Santa Catalina, generación con diésel 2022	50
Tabla 11. Subsidios COP\$ San Andrés Providencia y Santa Catalina, generación con GLP 2022	50
Tabla 12. Aspectos relevantes análisis costo – beneficio, generación de energía eléctrica con GLP	51
Tabla 13. Escenario 2. Subsidios COP\$ San Andrés Providencia y Santa Catalina, generación con GLP 2022	53
Tabla 14. Escenario 2. Aspectos relevantes análisis costo – beneficio, generación de energía eléctrica con GLP	54
Tabla 15. Componentes GLP y diésel B2	55
Tabla 16. Matriz comparativa con enfoque en GEI	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Respuesta Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, información calidad del GLP	67
Anexo 2. Respuesta ECOPETROL S.A. información calidad del producto GLP y Diésel. 69	
Anexo 3. Respuesta Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, información empresa SOPESA S.A. E.S.P.	71
Anexo 4. Eficiencias energéticas mensuales de las plantas Punta Evans y Bahía Garrett 73	
Anexo 5. Consumo San Andrés y providencia MWh/Mes por sectores.....	75
Anexo 6. Costo del Diésel y el GLP (COP\$/gal).....	77
Anexo 7. Galones de Diésel comprados por SOPESA S.A. E.S.P. para San Andrés y Providencia.....	77
Anexo 8. Costos del flete del Diésel y el GLP	79
Anexo 9. Costo de galones de GLP para San Andrés y Providencia Escenario 1 y 2	80
Anexo 10. Tarifas Reguladas SOPESA S.A. E.S.P.....	82
Anexo 11. Costo Unitario de Prestación del Servicio de Energía Eléctrica con GLP, nivel de tensión I y II	83
Anexo 12. Emisiones CO2 archipiélago San Andrés y Providencia	86

RESUMEN

Se evaluó la posibilidad de una sustitución de combustible para generar energía eléctrica en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, ya que, allí se utiliza diésel el cual es altamente contaminante en cuanto a emisiones y costoso con respecto a otros combustibles, por lo que se plantea un cambio por GLP; los dos combustibles son producidos en la refinería de Cartagena y al ser líquidos requieren una logística, transporte e infraestructura similar. En primer lugar, se realizó una revisión teórica de las principales propiedades del diésel y el GLP para compararlas entre sí teniendo como eje el potencial de generación de energía eléctrica, para el caso del GLP se encontró que su poder calorífico es mayor al diésel en términos de masa, pero inferior en términos de volumen por lo que se necesita mayor cantidad de combustible para producir la misma cantidad de energía.

Con la información oficial suministrada se halló la eficiencia energética de las plantas de generación de energía eléctrica Bahía Garrett de Providencia y Punta Evans de San Andrés, las cuales se encuentran en un promedio de 32,05 %; con estos datos se plantearon dos posibles escenarios de sustitución de combustible a GLP, el primero en el cual la eficiencia energética del sistema se mantiene igual y el segundo si la eficiencia energética se aumentara a 46,96% para la planta Punta Evans y 37,71% para Bahía Garrett donde se lograría igualar la cantidad de galones que se utilizaban con diésel.

Seguidamente, se construyeron series históricas con los costos de compra y flete del diésel y el GLP, el costo unitario de prestación del servicio de energía eléctrica (CU) y el valor de los subsidios del servicio. Con esta información se realizaron dos escenarios para el análisis de costo beneficio; el primero de ellos, consistió en plantear la sustitución del diésel por el GLP para la generación de energía eléctrica y; el segundo, además de generar la energía eléctrica con GLP, se incluyeron en los cálculos una estabilización de precios para la compra de este combustible, por la volatilidad que presenta en el mercado.

Con base en lo anterior, para el escenario 1 son requeridos más galones de GLP para generar la energía eléctrica que demanda el archipiélago, sin embargo, el ahorro mensual en la compra del combustible estaría alrededor de COP 2.607.952.029 para la planta de San Andrés y en COP 189.768.373 para la planta de Providencia. De la misma manera, el (CU) en promedio sería 190 (COP\$/kWh) más económico para los usuarios del servicio de energía eléctrica, si se utilizara el GLP en la generación de energía.

Luego se procedió a analizar las emisiones de ambos combustibles con una comparativa entre los componentes moleculares donde se observó que ambos tienen mayor proporción de carbono y en segundo lugar por hidrógeno; con los factores de emisión que fueron tomados de la calculadora FECOC establecida por la UPME, se hallaron las emisiones de CO₂, CH₄, N₂O y SO₂ para el diésel, GLP escenario 1 y GLP escenario 2, encontrando que en el caso del CO₂, habría una disminución de 13,3% y 36% respectivamente; también, se pasaría de una relación 0,75 ton CO₂/MWh a 0,65 ton CO₂/MWh (escenario 1) y 0,48 ton CO₂/MWh (escenario 2).

ABSTRACT

The possibility of a fuel substitution was evaluated to generate electrical energy in the archipelago of San Andrés, Providencia and Santa Catalina, since diesel is used there, which is highly polluting in terms of emissions and expensive compared to other fuels, for what is proposed is a change to LPG; The two fuels are produced in the Cartagena refinery and, being liquid, require similar logistics, transportation and infrastructure. Firstly, a theoretical review of the main properties of diesel and LPG was carried out to compare them with each other, taking as its axis the potential for generating electrical energy. In the case of LPG, it was found that its calorific value is greater than diesel in terms of in mass, but lower in terms of volume, so a greater amount of fuel is needed to produce the same amount of energy.

With the official information provided, the energy efficiency of the Bahía Garrett de Providencia and Punta Evans de San Andrés electric power generation plants was found to be at an average of 32.05%; With these data, two possible fuel substitution scenarios for LPG were proposed, the first in which the energy efficiency of the system remains the same and the second if the energy efficiency were increased to 46.96% for the Punta Evans plant and 37. 71% for Bahía Garrett where the number of gallons used with diesel would be equal.

Next, historical series were constructed with the purchase and freight costs of diesel and LPG, the unit cost of providing the electric energy service (CU) and the value of the service subsidies. With this information, two scenarios were carried out for the cost-benefit analysis; The first of them consisted of proposing the replacement of diesel with LPG for the generation of electrical energy and; the second, in addition to generating electrical energy with LPG, a price stabilization for the purchase of this fuel was included in the calculations, due to the volatility it presents in the market.

Based on the above, for scenario 1, more gallons of LPG are required to generate the electrical energy that the archipelago demands, however, the monthly savings in the purchase of fuel would be around COP 2,607,952,029 for the San Andrés plant. and in COP 189,768,373 for the Providencia plant. In the same way, the (CU) on average would be 190 (COP\$/kWh) more economical for users of the electric energy service, if LPG were used in energy generation.

Then, the emissions of both fuels were analyzed with a comparison between the molecular components where it was observed that both have a higher proportion of carbon and in second place hydrogen; With the emission factors that were taken from the FECOC calculator established by the UPME, the emissions of CO₂, CH₄, N₂O and SO₂ were found for diesel, LPG scenario 1 and LPG scenario 2, finding that in the case of CO₂, there would be a decrease of 13.3% and 36% respectively; Also, a ratio of 0.75 ton CO₂/MWh would go from 0.65 ton CO₂/MWh (scenario 1) and 0.48 ton CO₂/MWh (scenario 2).

INTRODUCCIÓN

Uno de los desafíos a los cuales se encuentra la humanidad es el cambio climático y nuestro país ha firmado compromisos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), sin embargo, las medidas para lograr dicho fin pueden llegar a ser controversiales, ya que, pueden interferir en el desarrollo económico, por tal razón el concepto de desarrollo sostenible es de vital importancia para tener soluciones íntegras, una de las mayores fuentes de emisiones en el mundo se relaciona a la generación de energía eléctrica con combustibles fósiles como el carbón o el diésel que son altamente contaminantes, por lo que en la actualidad las energías renovables han tomado fuerza como alternativa para reducir los impactos causados a la calidad del aire, sin embargo, estas tecnologías suelen ser costosas y en algunos casos poco eficientes, por lo que también se requiere de alternativas económicas y de fácil adaptación para dar soluciones rápidas con responsabilidad fiscal.

El archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina hace parte de las zonas no interconectadas (ZNI) del país, por lo que allí se genera electricidad a partir de diésel como combustible el cual es producido en la refinería de Cartagena, en esta misma refinería se produce GLP el cual también tiene aplicaciones en la generación de energía eléctrica teniendo propiedades similares al diésel, especialmente en que ambos son líquidos por lo que temas como el transporte o la logística guardan relación, situación que cambiaría con combustibles como el gas natural que si requeriría cambios más significativos en el sistema y el archipiélago es una zona que tiene otros problemas sociales como acceso a la salud, agua potable o educación por lo que si se pueden aportar soluciones que disminuyan el costo de la energía eléctrica sería de gran utilidad para esta población.

El GLP es un combustible comúnmente utilizado para procesos de cocción o calefacción, sin embargo, en los últimos años se ha venido promoviendo y aplicando su uso en la generación de energía eléctrica especialmente en campos petroleros, una de las ventajas del GLP es que suele ser más económico que el diésel y produce menos emisiones de GEI, por lo que puede ser una gran alternativa en la transición energética que se pueda adaptar a las condiciones económicas de países subdesarrollados y además de zonas no interconectadas para garantizar un buen servicio al menor costo posible.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia energética del Gas Licuado de Petróleo (GLP) con respecto al diésel como reemplazo para la generación de energía eléctrica en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Evaluar el desempeño del GLP con respecto al diésel en el proceso de generación eléctrica, a partir de una revisión teórica

Realizar un análisis costo-beneficio del diésel en relación con el GLP en el proceso de generación eléctrica

Analizar las emisiones generadas por el GLP y el diésel mediante una matriz comparativa

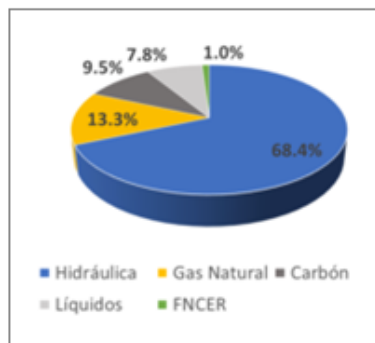
2. ANTECEDENTES

La transición energética responsable es esencial en los países en vía de desarrollo que tienden a depender en gran medida de los combustibles fósiles, sin embargo, es importante reconocer que estos pueden desempeñar un papel como sustitutos o de transición durante este proceso, en algunos casos, los combustibles fósiles menos contaminantes y eficientes pueden utilizarse como una solución de transición mientras se implementan tecnologías y fuentes de energía renovable a gran escala. No obstante, es crucial que esta transición se acompañe de un firme compromiso hacia la adopción de fuentes de energía verdaderamente sostenibles a largo plazo, la meta final debe ser reducir gradualmente la dependencia de los combustibles fósiles en favor de fuentes renovables y limpias para garantizar un futuro energético más seguro y sostenible a nivel global (Nguyen, et al., 2021).

Colombia aporta el 0,6% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono y ha asumido una serie de compromisos significativos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 51% para el 2030 y contribuir activamente a la lucha global contra el cambio climático proyectando en el 2050 la carbono neutralidad, estos compromisos incluyen la implementación de políticas y medidas para reducir las emisiones de carbono en sectores clave como la energía, el transporte y la agricultura, también se ha comprometido a impulsar la expansión de las energías renovables, mejorar la eficiencia energética y promover prácticas agrícolas o industriales sostenibles. Además, el país ha ratificado acuerdos internacionales como el Acuerdo de París, en el que se compromete a limitar el aumento de la temperatura global y a adaptarse a los impactos del cambio climático (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022).

En Colombia para lograr la transmisión de energía eléctrica se tiene el Sistema Interconectado Nacional (SIN), el cual tiene una cobertura del 96% de la población, el restante hace parte de las Zonas No Interconectadas (ZNI), las cuales pueden tener acceso a la electricidad por sistemas de generación autónomos o aislados.

Ilustración 1. Matriz capacidad de generación eléctrica en el SIN, diciembre de 2018

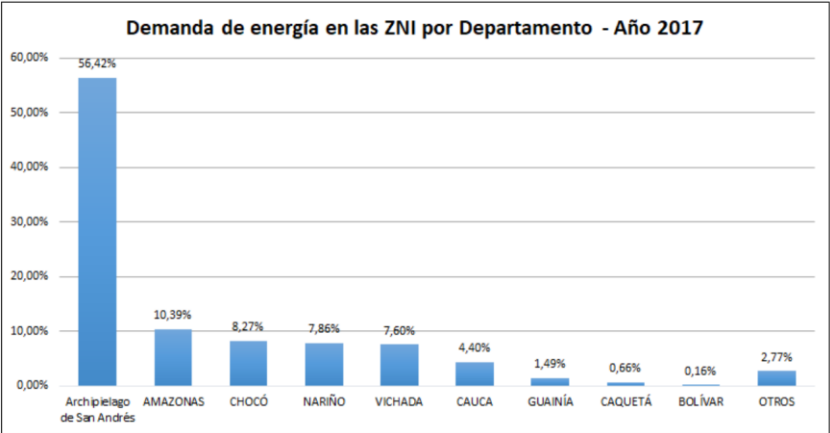


(Planas, 2019)

Los combustibles líquidos como el diésel o el GLP tienen mayor aplicación en las ZNI por su facilidad de transporte y otros aspectos logísticos, en cuanto a las ZNI, se puede evidenciar que San Andrés es la que más demanda de energía eléctrica tiene en Colombia,

por lo que es un foco de atención que puede servir de modelo para el resto de las zonas con la misma característica, ya que, como se ha mencionado en la isla se genera electricidad con diésel.

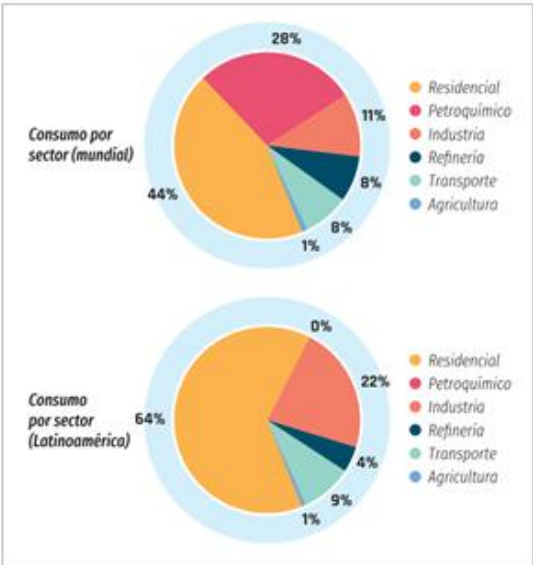
Ilustración 2. Demanda de energía en las ZNI por Departamento, año 2017



Fuente: SUI

En cuanto a los usos del GLP se puede observar que este combustible tiene un mayor uso a nivel residencial para cocinas o calefacción, el sector industrial tiene una participación importante donde dentro de las actividades se encuentra la generación de energía eléctrica, aunque no se encuentra el dato preciso de la cantidad exacta usada para dicho fin, tanto en el mundo como en el país, a continuación, se observan las gráficas de uso del GLP por sector extraídas del informe anual de GLP de Gasnova:

Ilustración 3. Consumo de GLP por sector: Mundial y Latinoamérica



(GASNOVA, 2021)

Del mismo informe anual se evidenció que al realizar el análisis de costos, el GLP presenta un déficit de oferta nacional debido al aumento de su demanda, sin embargo, es competitivo al tener precios menores que los del diésel que como se ha mencionado anteriormente, es el combustible que más se usa en las ZNI, uno de los problemas que se identificó en este mercado es que hay una gran cantidad de GLP que se vende de forma ilegal, pero en términos generales desde el aspecto económico se observa la viabilidad de implementación que puede llegar a tener, dentro de los combustibles fósiles el gas natural es un gran competidor y este tiene tarifas menores que el GLP, sin embargo, la infraestructura es más compleja y se tendría un mayor costo para su implementación.

Se encontraron en estudios similares que el GLP es un combustible más amigable con el medio ambiente en comparación al diésel, reduciendo emisiones de CO₂, CO, NOx u otros compuestos que disminuyen la contaminación atmosférica y a su vez, los efectos en el calentamiento global. Asimismo, el GLP tiene un menor costo, es de fácil transporte, adaptación o uso y su rendimiento de características combustibles es bastante óptimo, por lo cual se espera una gran viabilidad en este tipo de alternativas donde se pueden sustituir combustibles aportando en una transición energética responsable favoreciendo a comunidades enteras con un mejor servicio por un menor costo, cumpliendo los diferentes aspectos de la sostenibilidad (Calderon Sierra & Calderon Calderon, 2018).

En cuanto al contexto nacional de generación de energía eléctrica, la planta Termocaribe ubicada en Bolívar, es un hito importante en la transición energética de Colombia, esta planta termoeléctrica es la primera en el país que funciona exclusivamente con GLP, un combustible limpio y eficiente que produce menos emisiones de gases de efecto invernadero que otros combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo, la construcción de la planta fue impulsada por el gobierno colombiano como parte de su estrategia para diversificar la matriz energética del país y reducir su dependencia de los combustibles fósiles, la planta tiene una capacidad instalada de 120 megavatios para la segunda fase, Termocaribe genera electricidad para el Sistema Interconectado Nacional (SIN), que suministra electricidad a la mayoría de los hogares y empresas de Colombia (Alcaldía Municipal de Santa Rosa - Bolívar, 2021).

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Introducción a la generación de energía eléctrica en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina

3.1.1. Características geográficas y energéticas del Archipiélago

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, es un conjunto de islas ubicado en el mar Caribe, frente a la costa noroeste de Colombia. Por su parte, San Andrés, es la isla más grande del archipiélago, con una extensión de 27 km². Providencia, es la segunda isla más grande del archipiélago, con una superficie de aproximadamente 17 km² y Santa Catalina, es una pequeña isla ubicada al norte de Providencia, con una superficie de aproximadamente 1,5 km² (Aguilera Diaz, 2016).

En relación con las características energéticas del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, encontramos que, si bien existe un potencial para aprovechar la energía que podría generarse a través del mar mediante las olas y las corrientes marinas, en la actualidad, las islas cuentan con centrales eléctricas que operan mediante el combustible fósil Diesel para abastecer todos los sectores de consumo, además dado el creciente interés por las energías limpias, vemos que en el archipiélago a través del programa “Be Energy” del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE) y con apoyo del Ministerio de Minas y Energía, se están implementando medidas para fomentar el uso de fuentes renovables, es por esto por lo que, han instalado paneles solares fotovoltaicos en algunas viviendas de las islas y en infraestructuras de entidad oficiales (FENOGE, 2022).

3.1.2. Fuentes de energía utilizadas actualmente en la región

El suministro de energía eléctrica en el archipiélago depende en gran medida de generadores diésel. Estas plantas de generación diésel son utilizadas para satisfacer la demanda eléctrica de la población local, los hoteles, las empresas y las actividades turísticas. De acuerdo con el informe realizado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios durante el 2018, la central de generación eléctrica de San Andrés cuenta con una potencia instalada de generación de 64,99 MW, que equivale a 10 unidades operadas con diésel, una de ellas en mantenimiento y una planta de generación de residuos sólidos que aún no ha entrado en operación. (Superservicios, 2018)

El archipiélago depende en gran medida de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, especialmente el diésel. Este escenario crea una dependencia externa de suministro de combustible con el continente y expone a la región a fluctuaciones en los precios internacionales del petróleo y el gas, los cuales son trasladados vía tarifa a los usuarios del servicio de energía eléctrica. Adicionalmente, los combustibles fósiles son una fuente de energía no renovable y contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero y el cambio climático. (Foster & Elzinga, 2023)

Por otra parte, el archipiélago se encuentra en una región propensa a eventos climáticos extremos, como huracanes y tormentas tropicales. Estos eventos pueden interrumpir el suministro de energía eléctrica y afectar las infraestructuras energéticas, tal como se presentó con el paso del huracán Iota a finales del año 2020, lo que conllevó a presentar prolongados cortes de luz y dificultades en el restablecimiento de la prestación del servicio de energía eléctrica. Adicionalmente, el archipiélago presenta desafíos técnicos, financieros y regulatorios, la adopción de fuentes de energía renovable, como la energía solar y eólica, como también, la sustitución de combustibles para la generación de energía eléctrica por aquellos que sean menos contaminantes (Revista SEMANA, 2020).

3.2. Gas licuado de petróleo (GLP) como alternativa al diésel en la generación de energía eléctrica

3.2.1. Características, propiedades y composición del gas licuado de petróleo (GLP)

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es un tipo de combustible utilizado ampliamente en todo el mundo el cual es incoloro e inodoro, por tal razón se le añade un compuesto para que se pueda detectar en caso de una fuga. Se trata de una mezcla de hidrocarburos gaseosos, principalmente propano y butano, es decir, en condiciones normales el GLP es gaseoso, cuando se le disminuyen las temperaturas o se aumenta la presión pasa a estado líquido. Este combustible se obtiene de dos maneras, el 60% proviene de las etapas de extracción del petróleo y gas natural, el resto se produce en la refinación del petróleo. Es altamente valorado debido a su facilidad de almacenamiento, transporte y uso en diversas aplicaciones, ya que, en estado líquido el volumen que ocupa es 274 veces menor que si se almacena en estado gaseoso (Gasnova, s.f.).

El GLP tiene una gran diversidad de usos, es bastante utilizado en sectores como el agro, en secado de cultivos o combustible para maquinaria, en el sector del transporte como combustible de vehículos, en áreas como el turismo o entretenimiento se utiliza para acampar, combustible de vehículos náuticos o globos aerostáticos, una de las aplicaciones más importantes es para la cocción de alimentos en el sector residencial. En regiones con poco desarrollo se utilizan elementos como la madera o el carbón, por lo que el GLP en cilindros aparece como una de las principales alternativas para este tipo de población que no cuenta con la infraestructura de suministro del gas combustible por redes de tubería, disminuyendo también los impactos a la salud que genera la combustión de los elementos mencionados, también se utiliza en sistemas de calefacción y otra de sus aplicaciones puede ser la generación de energía eléctrica para sectores que no están interconectados (LPG Exceptional Energy, s.f.)

Según la Asociación Mundial del GLP (World LPG Association) en su informe del 2013, el GLP presenta varias características destacadas. En primer lugar, tiene un alto poder calorífico, lo que significa que produce una gran cantidad de energía por unidad de volumen. Esta característica lo convierte en un combustible eficiente para su uso en aplicaciones domésticas, comerciales e industriales. Además, el GLP tiene una baja toxicidad en comparación con otros combustibles, lo que lo hace más seguro de manejar. También es fácil de almacenar y transportar debido a su naturaleza líquida a presión moderada, lo que

permite su distribución a través de redes de tuberías, envasado en cilindros o tanques estacionarios.

La composición del GLP puede variar dependiendo de su origen y del proceso de refinamiento al que haya sido sometido. Sin embargo, en general, el propano y el butano son los componentes principales. El propano es un hidrocarburo con tres átomos de carbono, mientras que el butano tiene cuatro átomos de carbono en su estructura. Estos hidrocarburos son altamente volátiles y se licúan a presiones relativamente bajas. Además de propano y butano, el GLP también puede contener trazas de otros hidrocarburos como etano, propileno y butileno, así como compuestos de azufre y otros contaminantes que deben ser eliminados durante el proceso de refinamiento (WLPGA, 2013).

3.2.2. Comparativa entre el GLP y el diésel como combustible

Luego de haber descrito las características principales del GLP, se busca comparar varias de sus propiedades con el diésel, para esto se muestra la siguiente tabla:

Tabla 1. GLP Propiedades comparado con las propiedades del diésel

PROPIEDADES	UNIDADES	DIESEL	GLP	
			PROPANO	BUTANO
Densidad	kg/m ³	800-840	503	-
Calor de vaporización	kJ/kg	465	420	-
Temperatura de auto ignición	°C	355	481	544
Límite de inflamabilidad	%	0,6-5,5	2,1-9,5	-
A/F relación	kg/kg	15	15-71	15,49
Temperatura de llama	°C	2054	1990	-
Valor mínimo de calefacción	MJ/m ³	36000	23000	-
Valor mínimo de calefacción	MJ/kg	42,5	46,34	45,55
CC		40-55	-2	-

(Mirica, et al, 2016)

Una de las propiedades en las que más se puede observar diferencia, es la densidad, se evidencia que el diésel tiene una mayor densidad que el GLP; al tener menor calor de vaporización el GLP con respecto al diésel permite que este se vaporice con mayor velocidad y el sistema de combustión consume menos calor en la inyección directa; también se resalta que como la temperatura de autoignición del GLP es mayor, se necesita de cierta adaptación del motor que está diseñado para funcionar con diésel; la temperatura de llama entre menor sea su valor, se asocia a una menor emisión de óxidos de nitrógeno. Por último, una de las propiedades más importantes de un combustible es el poder calorífico el cual relaciona la cantidad de energía liberada por unidad de materia en una reacción de combustión, donde el GLP tiene un valor mayor al del diésel; sin embargo, al tener menor densidad se necesitaría mayor volumen de combustible para producir la misma cantidad de energía (Nutu, et al, 2017).

3.2.3. Ventajas y desventajas del GLP como sustituto del diésel en la generación de energía eléctrica

Algunos de los criterios que se pueden tener en cuenta para comparar el GLP y el diésel para generar energía eléctrica son disponibilidad del recurso, costo, emisiones, infraestructura, logística, transporte, funcionamiento de los motores, propiedades físico-químicas. Según la Asociación Colombiana del GLP (GASNOVA) y LPG Exceptional Energy en sus páginas oficiales, establecen que criterios como la disponibilidad, costo e infraestructura puede variar de acuerdo con el país o a las regiones, estos aspectos se evaluarán con mayor profundidad en otros capítulos.

De las páginas oficiales de las entidades mencionadas se puede establecer de manera general las siguientes ventajas del GLP con respecto al diésel: en algunos países hay grandes reservas o yacimientos de petróleo y gas por lo cual se puede tener una gran disponibilidad de este recurso, el GLP suele tener un costo por unidad de energía más bajo que el diésel, lo que puede resultar en ahorros significativos en los costos operativos de la generación de energía eléctrica a largo plazo, produce emisiones más bajas de gases contaminantes, teniendo en cuenta que el GLP se puede transportar en forma líquida, la logística es muy parecida a la del diésel lo cual da una ventaja competitiva, menor impacto a la salud humana al tener menos contenido en material particulado o compuestos orgánicos volátiles, el uso del GLP como combustible permite la conversión de motores diésel existentes con modificaciones, lo que facilita la transición hacia su utilización en la generación de energía eléctrica.

Entre las desventajas del GLP con respecto al diésel podemos encontrar menor densidad del combustible, para lo cual se requiere un mayor volumen de GLP para generar la misma cantidad de energía, la infraestructura de almacenamiento, distribución y suministro de GLP puede ser limitada en algunas áreas, lo que podría dificultar su adopción a gran escala en la generación de energía eléctrica, es un gas altamente inflamable, lo que aumenta el riesgo de fugas y explosiones en comparación lo que requiere medidas de seguridad adicionales durante el almacenamiento, transporte y manipulación del combustible, los precios del GLP presentan fluctuaciones por estar afectados con indicadores internacionales de referencia de propanos y butanos, como también, a la Tasa Representativa del Mercado (TRM), conforme lo señala la Resolución CREG 066 de 2007. El diésel ha sido utilizado en gran medida para la generación de energía eléctrica en comparación al GLP, lo cual hace que tenga una gran ventaja en desarrollo por ser una tecnología más madura.

3.3. Eficiencia energética en la generación de energía eléctrica

3.3.1. Concepto y medidas de eficiencia energética

La eficiencia energética es un concepto que puede tener diversos enfoques según la época, la entidad o el autor, sin embargo, para demarcar este trabajo a nuestro contexto local nos remitimos a la Ley 1715 de 2014, *“Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”*, allí se establece dentro de las definiciones en el artículo 5 para interpretar y aplicar la ley que la eficiencia energética es “la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, que busca ser maximizada a través de buenas prácticas de reconversión tecnológica o sustitución de combustibles. Adicionalmente, la eficiencia energética busca obtener el mayor provecho de la energía, bien sea a partir del uso de una forma primaria de energía o durante cualquier actividad de producción, transformación,

transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre el ambiente y los recursos naturales renovables”.

Entidades como la Agencia Internacional de la Energía, enfatizan que la aplicación de medidas en eficiencia energética en sectores como la generación de energía eléctrica pueden aportar en la reducción del 40% de las emisiones de gases efecto invernadero de aquí a 30 años aproximadamente, relacionado a acciones de mejoras en la tecnología, incentivos gubernamentales, cambios de hábitos de consumo de las nuevas generaciones y demás variables que tengan que ver con el área de la energía (Energy Transitions Commission, 2016).

Entendiendo la eficiencia energética, las medidas tomadas para la aplicación de este concepto son aquellas acciones, tecnologías y estrategias diseñadas para reducir el consumo de energía en diversos procesos y sistemas, sin comprometer la calidad o el rendimiento de estos. En el contexto de la generación de energía eléctrica, estas medidas buscan maximizar la producción de electricidad utilizando la menor cantidad de recursos posibles y minimizando las pérdidas durante todo el proceso de generación. Además, las medidas de eficiencia energética pueden generar ahorros significativos en costos de energía y mejorar la competitividad de las empresas e industrias, mientras se avanza hacia un futuro más sostenible y resiliente (Dwyer, 2017).

Algunas medidas de eficiencia que se pueden aplicar a la generación de energía eléctrica especialmente a partir de combustibles fósiles, en donde a través de procesos como la auditoría energética se pueden evidenciar ineficiencias en los procesos, inventarios, flujos de energía, también se pueden aplicar procesos de cogeneración, optimización, mejorar la transmisión o distribución, uso de smart grids, monitoreo y análisis de resultados constantes, mantenimiento oportuno, adaptaciones o modificaciones en los sistemas de generación sea por motor de combustión interna o turbina (Escobar, et al, 2020)

3.3.2. Métodos de evaluación de la eficiencia energética en sistemas de generación eléctrica

Análisis de Ciclo de Vida (ACV): Por otra parte, el análisis del ciclo de vida evalúa la eficiencia energética a lo largo de todo el ciclo de vida de un sistema de generación eléctrica, desde la extracción de materias primas y la fabricación de componentes hasta la operación y el desmantelamiento. Este método toma en cuenta los impactos ambientales y energéticos asociados a cada etapa, lo que permite identificar oportunidades de mejora y reducción de la huella energética. (Mondragón, 2023).

Análisis Exergético: El análisis exergético es una herramienta que evalúa la calidad de la energía y la eficiencia de los procesos. Se basa en el concepto de exergía, que representa la porción de energía que puede convertirse en trabajo útil. En este análisis se puede identificar las pérdidas irreversibles en el sistema y proporcionar información valiosa para mejorar la eficiencia energética, también permite identificar los componentes o equipos del sistema con las mayores ineficiencias termodinámicas, localizarlos, cuantificar las ineficiencias y saber las fuentes y procesos que las causan (Martínez Sanabria, 2023).

Índices de Eficiencia: Son medidas numéricas que se utilizan para evaluar el rendimiento o la efectividad de un sistema, proceso o entidad en relación con ciertos objetivos o estándares establecidos. Este tipo de índice permite comparar el rendimiento en diferentes situaciones o a lo largo del tiempo y proporciona una forma cuantitativa de medir la eficiencia (Martinez, et al, 2016); se utilizan diversos índices para medir la eficiencia energética de los sistemas de generación eléctrica como eficiencia de conversión, térmica, eléctrica, utilización de combustible y generación neta.

Modelado y Simulación: Al desarrollar modelos matemáticos y realizar simulaciones de los procesos de generación, se pueden estudiar diferentes escenarios y variables para identificar oportunidades de optimización y eficiencia, el modelado permite analizar cómo cambios en parámetros como la carga, la temperatura, la eficiencia de los equipos y el tipo de combustible afectan el rendimiento del sistema de generación, estos análisis ayudan a tomar decisiones informadas sobre mejoras en el diseño, la operación y el mantenimiento, lo que conduce a una mayor eficiencia en la conversión de energía y a una reducción de los costos operativos (Cabello Gaviria, 2023).

Auditorías Energéticas: Son herramientas clave en la evaluación de la eficiencia energética. Estudios exhaustivos permiten analizar el consumo y la eficiencia de sistemas de generación eléctrica, identificando áreas de mejora y posibles pérdidas energéticas. Estas auditorías suelen incluir inspecciones detalladas de equipos, mediciones de consumo y análisis de datos operativos. Al recopilar información relevante, se pueden proponer medidas concretas para optimizar el rendimiento energético y reducir costos (Campos Guevara, & Ocupa Gonzalez, 2023).

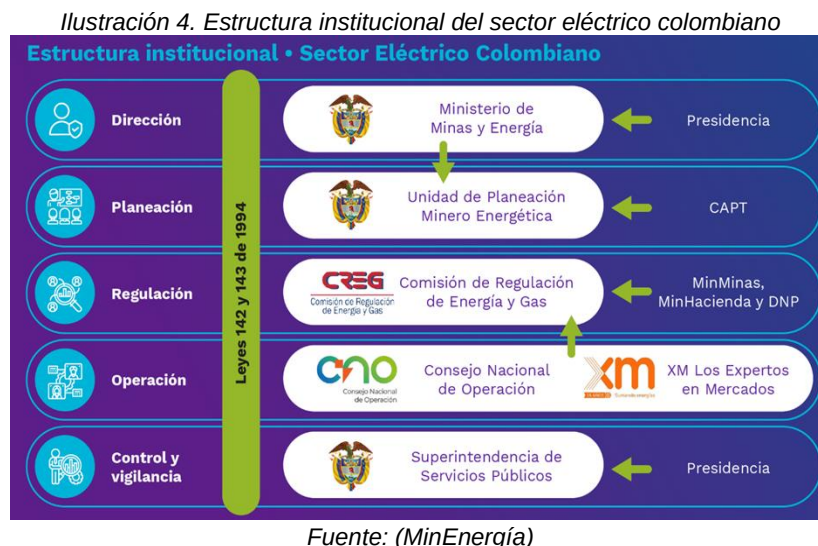
Certificaciones y Normativas: En los diferentes países y regiones, existen programas de certificación y normativas que establecen estándares de eficiencia energética para los sistemas de generación eléctrica o cualquier otro tipo de actividad, cumplir con estas certificaciones puede ser una forma de demostrar y mejorar la eficiencia del sistema. En Colombia una de las normativas más importantes es la ley 697 de 2001 la cual “se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones”. La certificación NTC ISO 50001 establece los requisitos para implementar un Sistema de Gestión de la Energía (SGE), su objetivo principal es proporcionar un marco estructurado para mejorar la eficiencia energética, reducir costos y minimizar el impacto ambiental asociado con el consumo energético (Cisneros, 2014).

3.4. Análisis del contexto energético en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina

3.4.1. Marco normativo y político en el sector energético del Archipiélago

El sector eléctrico colombiano se rige fundamentalmente por las Leyes 142 y 143 de 1994, las cuales definen el régimen de prestación de servicios públicos desde las actividades de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. (MinEnergía, s.f.). Asimismo, la estructura del sector está conformado por una dirección que lleva a cabo la formulación de la política, la cual está a cargo del Ministerio de Minas y Energía (MME); la planeación, bajo la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME); la regulación, a cargo de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG); el control y

vigilancia, a cargo de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD). De igual manera, para la operación hacen parte otras entidades o empresas de servicios públicos, como lo son, el Consejo Nacional de Operación (CNO) y los expertos del mercado (XM). (MinEnergía, s.f.)



Ahora bien, frente al marco normativo aplicable al sector energético, específicamente en las Zonas No Interconectadas, desde la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), la norma que a la fecha ordena el reporte de información al Sistema Único de Información (SUI), el cual es el sistema que agrupa la información oficial de los servicios públicos, es la Resolución No. SSPD - 20211000859995 del 24-12-2021. Esta resolución se dirige a los comercializadores, distribuidores y generadores de energía eléctrica que prestan el servicio público domiciliario de energía eléctrica y/o sus actividades complementarias en las Zonas No Interconectadas (ZNI).

3.4.2. Infraestructura existente para la generación de energía eléctrica en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina

Como lo hemos descrito hasta este capítulo, generar energía eléctrica en zonas no interconectadas presenta desafíos únicos debido a la falta de acceso a redes eléctricas convencionales o no conectadas a la red nacional, sin embargo, de acuerdo con el informe de USAene, firma contratada por la Comisión de Regulación para Energía y Gas (CREG), en el mercado se encuentran diferentes tecnologías que, para Colombia, la más común por su madurez tecnológica corresponde a las Máquinas Reciprocantes. Los motores reciprocantes pueden dividirse en dos tipos, los motores por chispa (SI), también conocidos como motores ciclo OTTO y los motores que funcionan con ignición por compresión (OI) o comúnmente llamados motores ciclo Diésel. (USAene, 2013).

Para el caso de estudio, la SOCIEDAD PRODUCTORA DE ENERGÍA DE SAN ANDRÉS Y PROVIDENCIA S.A. E.S.P., quien es la empresa que actualmente administra la prestación del servicio de energía eléctrica en el área geográfica de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, cuenta con una infraestructura que funciona principalmente

con motores diésel, los cuales representan una potencia nominal instalada de 66,94 MW para San Andrés y 3.7 MW para Providencia, según datos del informe de telemetría del mes de julio de 2023, publicado por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE, 2023).

3.5. Experiencias y estudios previos sobre el uso de GLP en la generación de energía eléctrica

El presidente del WLPGA aseguró que Colombia será un país líder en el desarrollo del GLP, ya que, ha estado atrayendo bastante inversión extranjera lo cual permite un crecimiento orgánico del sector, también mencionó que el costo para la infraestructura de este combustible es mucho menor que la de uno de sus fuertes competidores como lo es el Gas Natural Comprimido (GNC) donde se estima que este costo es de casi un tercio si se comparan los dos combustibles, además de poder cubrir tanto las zonas conectadas a la red como las no interconectadas, otra de las conclusiones del presidente es que este sector se puede inclinar hacia la construcción de centrales termoeléctricas que funcionen con GLP (Urrego, 2021).

3.5.1. Casos de estudio de implementación de GLP en sistemas de generación eléctrica

En el país las centrales termoeléctricas de Termocaribe 1 y 3 ubicadas en el departamento de Bolívar, además de las dos centrales de Termosolar del Valle del Cauca tomaron la iniciativa para generar electricidad a partir de GLP, reemplazando de esta manera al combustible principal que era el diésel, esto se realizó como parte de lo propuesto en el Plan Nacional de Desarrollo que tiene como objetivo la sustitución de combustibles, además según lo expuesto por los equipos técnicos del ministerio a cargo y demás entidades relacionadas, el costo eficiente de este combustible lo hace bastante competitivo frente a otras opciones como el gas natural, además que el presidente de Gasnova refiere que el GLP es un combustible ideal para generar energía eléctrica en zonas no interconectadas (Portafolio, 2019).

Hacia el año 2014 Ecopetrol junto con tres empresas más, construyeron una planta de generación de energía eléctrica que funciona con GLP, la cual es definida como pionera en esta área de la industria, la cual se encarga de suministrar la electricidad necesaria para el funcionamiento del campo Castilla donde se extrae el petróleo, la planta es alimentada por el combustible extraído del Cusiana generando 20 MW de capacidad, este proyecto aumenta la flexibilidad en cuanto a fuentes de generación de energía aprovechando los recursos existentes en la zona mejorando las condiciones del departamento del Meta, donde además de generar empleos de trabajo aumenta los conocimientos y experiencias para que cada vez más se implemente el GLP como combustible en termoeléctricas (El Tiempo, 2014).

Regionalmente, en Honduras la empresa Roatan Electric Company produce electricidad con energía eólica y con GLP, años atrás esta electrificadora realizaba su producción con diésel, sin embargo, realizó una sustitución de combustibles utilizando cuatro motores de alta eficiencia, lo que generó que con el tiempo los costos de producción disminuyeran

significativamente y aumentara su oferta energética a tal punto que abastece toda la isla de Roatán y vende energía al sistema interconectado nacional. En Chile se observa el caso de la empresa Lipigas que compró una mayoría accionaria de la empresa encargada de proveer energía eléctrica a parte de la región de Coquimbo utilizando GLP como combustible, luego de aumentar el capital construyeron dos unidades que en total pueden producir 7,2 MW. Las empresas Gasco y Enlase se sumaron a la tendencia realizando una fuerte inversión para construir una gran central termoeléctrica donde se puedan producir 43 MW a partir del GLP (AIGLP, 2019).

En estudios realizados se encontró que la sustitución a combustibles como el GLP por diésel, no tiene una alta incidencia en características como velocidad del motor, relación de compresión y desempeño en general demostrando viabilidad, aunque se aclara que estos estudios no se han hecho a gran escala, por esta razón investigadores de la Universidad Nacional de Colombia realizaron un estudio en una planta real de generación de 400 kW alimentada con un sistema dual de diésel y GLP para establecer la eficiencia eléctrica teniendo en cuenta el aspecto ambiental de emisiones (Forero, et al, 2014).

3.5.2. Resultados y lecciones aprendidas de investigaciones similares

En Perú, la empresa Agromantaro SAC utilizaba diésel para el funcionamiento de las calderas, sin embargo, se plantearon sustituir el combustible por GLP y evaluar su rendimiento, uno de los resultados es que la eficiencia de la caldera se incrementó en un 5%, las emisiones de CO₂ disminuyeron con el uso de GLP además que también se disminuyeron las pérdidas por entalpía, también se formularon recomendaciones para que esta sustitución sea lo más optimas posible como lo son manejar registros del proceso de combustión con parámetros de presión, temperatura de aire, temperatura de combustible, solicitar a proveedores las fichas técnicas y los resultados de los análisis fisicoquímicos del combustible, garantizar que se lleve a cabo la atomización del combustible en caso que se suministre de forma líquida, de esta manera esta empresa logro mejorar su eficiencia energética disminuyendo costos, impactos al medio ambiente y sin una gran inversión de capital (Huamancayo Inga, 2017).

Entre la literatura se encuentra que hay empresas o proveedores de motogeneradores que funcionan con GLP, sin embargo, dentro de las características se debe tener en cuenta la composición de este en cuanto a la concentración de butano, se han hecho estudios al respecto pero hay bastante privacidad al respecto por lo que la información que hay es bastante limitada, una de las aplicaciones que tiene el GLP para generar energía eléctrica es en los campos de explotación de petróleo, por esta razón se realizó un estudio para evaluar el posible cambio de combustible de un motor Waukesha diseñado para trabajar con gas natural, el GLP extraído de la zona de Cusiana en Colombia por la empresa Ecopetrol, tiene un alto contenido de butano; al final de las pruebas se evidenció que el uso de este combustible para producir electricidad no es tan viable, ya que tiene mayor densidad y se dificulta la evaporización de este (Silva Leal, 2014).

Uno de los ejemplos de zonas no interconectadas en las cuales se han hecho pruebas en sustitución de combustible diésel por GLP para generar electricidad, es el pueblo de Timbiquí-Cauca, donde en el año 2005 el gobierno nacional anunció iniciar un plan piloto teniendo en cuenta que este pueblo estaba teniendo problemas de suministro de energía, luego en el 2007 el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE) inició la prueba con dos unidades de 150 kW aproximadamente cada una con un combustible diferente, diésel y GLP respectivamente con condiciones de carga diferente, uno de los objetivos de la prueba era determinar la cantidad de combustible consumido por kWh producido, Ecopetrol es la empresa que recopiló los datos de la prueba y no se tiene acceso público para mayor detalle, sin embargo, una de las conclusiones es que al operar a condiciones de carga diferente no se pudo establecer un resultado final conciso (Presidencia de Colombia, 2005).

Uno de los estudios más aproximados en Colombia fue hecho en la Universidad del Norte donde se realizó un diseño conceptual de una planta de generación de electricidad en el municipio de Santa Rosa – Bolívar donde se pudieran integrar el GLP y el gas natural, luego de evaluar las distintas tecnologías disponibles; además de la escasez de agua en la zona se determinó que uno de los motores que funciona con mejor rendimiento es el Wartsila 20V34SG debido a flexibilidad, cambio en potencia y bajo consumo térmico; teniendo de referencia este motor se pudo adaptar al sistema el diseño para la refrigeración y circulación de gases de escape; partiendo del uso de este motor se terminó de diseñar la planta para al final realizar el análisis financiero dando como resultado una gran pre-factibilidad del proyecto, por lo que se demuestra que este tipo de proyectos necesitan de mayor impulso para que puedan empezar a funcionar (Lora, et al, 2019).

En la academia colombiana, también se encontró que en la Universidad Libre se evaluó el comportamiento de un motor de combustión al mezclar el diésel que es el combustible principal con el GLP, haciendo una relación como lo que se hace con los biocombustibles actualmente, con el objetivo de reducir contaminantes sin afectar las principales características del combustible como lo pueden ser el torque y la potencia, en cuanto a la potencia la máxima diferencia que hubo entre el diésel y la mezcla con GLP fue del 24% de aumento lo que según los investigadores se debe a la composición gaseosa del GLP haciendo que este sea más rápido; un resultado muy similar se tuvo con el torque donde no se generan pérdidas significativas con la mezcla, otro de los resultados más relevantes es que la mezcla al 20% de GLP redujo casi a la mitad las emisiones de monóxido de carbono lo cual lo asocian a que hubo una mejor oxigenación en la cámara de combustión; estas conclusiones son valiosas aunque hay que aclarar que las pruebas se hicieron en un motor estático de bajo cilindraje por lo que hay que realizar pruebas a mayor escala y mejorar el sistema de inyección del GLP (Benavides Reyes, 2019).

En la Universidad Los Libertadores, se hizo un trabajo con resultados complementarios al mencionado anteriormente en el que se concluyó que la mezcla entre diésel y GLP no es recomendable con menos del 20% de GLP, también se observó en la investigación que con una buena combinación de mezcla se puede llegar a disminuir costos lo cual puede ser bastante óptimo para la generación de energía eléctrica; también se menciona que en las

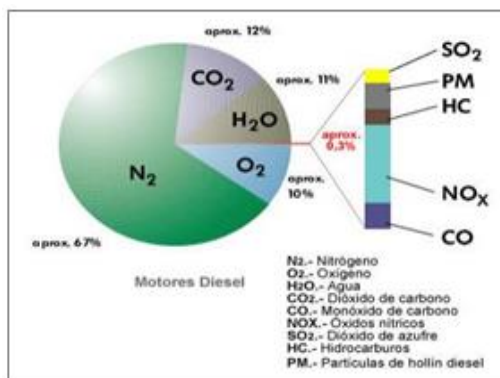
pruebas de mezcla la eficiencia del motor de encendido por compresión aumentó, teniendo un rango mínimo de 27% y máximo de 284% reduciendo el uso de diésel lo cual a su vez disminuye emisiones contaminantes; dentro de las recomendaciones técnicas se tiene que se deben mejorar los inyectores eléctricos, implementar un sistema de control de revoluciones, aumentar el número de pruebas para saber cuál puede llegar a ser la mayor cantidad de GLP para que la mezcla sea lo más eficiente posible (Aguilar Caro, 2019).

3.6. Impacto ambiental y sostenibilidad del uso de GLP en la generación de energía eléctrica

Los hidrocarburos en general, como el diésel y el GLP emiten contaminantes producto de la combustión como el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, metano, compuestos orgánicos volátiles, material particulado (PM 2.5) y (PM 10), amoniaco y dióxido de carbono, es decir este tipo de combustibles emiten gases de efecto invernadero; en Europa se estimó que aproximadamente el 86% de las emisiones de dióxido de carbono que es el gas al cual se le atribuye mayor relación en el calentamiento global, proviene del uso de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica y materiales (Saenz Ojeda, 2017).

Estos gases tienen efectos en la salud en el momento de ser inhalados por los seres humanos, por ejemplo, los hidrocarburos contienen benceno el cual es altamente tóxico, el CO es un gas incoloro, inodoro e insípido que puede ser muy peligroso y hasta mortal, los NO_x contribuyen a la formación de smog y lluvia ácida, también pueden irritar las vías respiratorias y los pulmones, el SO₂ es irritante para las vías respiratorias, provoca tos, dificultad para respirar, el material particulado causa irritación, inflamación y daño pulmonar y en caso del PM 2.5 se asocia bastante en la incidencia al cáncer de pulmón (Satorra, 2010), según la OMS una de cada ocho muertes en el mundo está asociada a la contaminación atmosférica, las cuales en su mayoría fueron causadas por enfermedades como accidente cardiovascular, cardiopatía isquémica, neumopatía obstructiva crónica, infección respiratoria aguda en niños y cáncer de pulmón (OPS, 2014).

Ilustración 5. Porcentaje de los componentes de los gases de escape de motores diésel



(Meganeboy, 2014)

El nitrógeno y oxígeno hacen parte del aire necesario como comburente para que el proceso de combustión se pueda realizar, por lo que según la gráfica el gas de efecto invernadero que más porcentaje tiene en la emisión es el dióxido de carbono con aproximadamente el 12%, y entre las demás emisiones se destacan el NOx y el material particulado.

Como se ha mencionado anteriormente, la composición del GLP depende en gran medida del lugar de extracción además de los procesos que haya tenido, por ejemplo, el GLP que se deriva de los yacimientos de gas natural tiene muy bajo o nulo contenido en hidrocarburos insaturados, pero el que se obtiene de refinerías sí contiene dichos compuestos, en países como Brasil o Colombia el GLP que se oferta viene principalmente de refinería, por lo que para tener un dato más exacto de la composición y emisiones de este combustible hay que realizar pruebas técnicas de gases en laboratorio y así dar un dato más certero del impacto que pueda llegar a tener y compararlo con otro hidrocarburo (De Lima Nunez & André Trein, 2006).

Para conocer la composición de un gas, se deben realizar pruebas de laboratorio entre las cuales se tienen las técnicas más comunes que son cromatografía de gases (GC), espectrometría de masas (MS), espectroscopia infrarroja (IR). La elección de la técnica adecuada dependerá de la composición del gas y de la precisión requerida, en general las técnicas analíticas más precisas son las que utilizan espectrometría de masas, sin embargo, estas técnicas son también las más caras y complejas, Las técnicas analíticas más sencillas son las que utilizan cromatografía de gases, estas técnicas son más económicas y fáciles de usar, pero son menos precisas (Gomez Galán, 2018).

3.6.1. Ventajas ambientales del uso de GLP como combustible en comparación con el diésel

En la Universidad Politécnica de Hong Kong se realizó un estudio donde tenían como objetivo medir las emisiones de automóviles que tenían como particularidad el uso de GLP como combustible, los contaminantes a medir fueron el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxido nítrico (NO) donde se tuvieron en cuenta diferentes velocidades y aceleraciones teniendo como una de las conclusiones que las formas de manejo en cuanto a la aceleración y desaceleración del carro se relacionan con las emisiones, los resultados del estudio muestra que hubo una reducción de emisiones de un 73% en promedio en comparación al diésel, en donde se tuvo una tendencia que después de los 30 km/h se reducía el porcentaje de diferencia; hay que tener en cuenta que los vehículos en los cuales se hizo el estudio hicieron parte de un programa que realizó el gobierno de ese país para sustitución de diésel por GLP (Z Ning, 2007).

En otro estudio se midieron las emisiones de un vehículo con diésel y luego con una mezcla con GLP y diésel, con recorridos de hasta 20.000 km se obtuvo que la mezcla de combustibles tuvo una menor carga contaminante reduciendo en un 31% el CO₂, 11% el CO y 27% los hidrocarburos, no hubo afectaciones significativas en el rendimiento o tiempo de vida del motor y además el GLP tiene emisiones menos corrosivas ayudando al mantenimiento de otras partes del sistema; sin embargo, se aclara que estos estudios dependen del motor a utilizar, variables evaluados, composición del combustible y otros

factores aunque se ve una tendencia hacia que el GLP es menos contaminante (MYLPG.EU).

Uno de los indicadores más importantes para saber la carga contaminante de un gas es el factor de emisión el cual se refiere a la cantidad de contaminantes o sustancias específicas liberadas al medio ambiente como resultado de una actividad humana o proceso industrial, estos factores son medidas cuantitativas que expresan la relación entre la cantidad de emisiones y una unidad de actividad relevante, como la producción de energía, la producción industrial o el transporte, los factores de emisión son fundamentales para comprender y controlar la contribución de diversas fuentes a la contaminación ambiental, así como para diseñar estrategias efectivas de reducción de emisiones y promover un desarrollo sostenible; a continuación se muestra el factor de emisión de varios combustibles:

Tabla 2. Factores de emisión de carbono y por tipo de combustible

Combustible	Estado	Factor de Emisión (Kg C/GJ)
Carbón	Sólido	26.8
Crudo de Petróleo	Líquidos	20.0
Diésel		22.2
Fuel Oil		21.1
Gasolina		18.9
Kerosene		19.5
Gas propano - GLP	Gas	17.2
Gas Natural		15.3

Fuente: (Moncayo, et al, 2023)

El GLP es uno de los combustibles junto con el gas natural que menos carga contaminante tiene en comparación a los demás, lo cual demuestra la ventaja ambiental que tiene. Otras características que hacen al GLP una mejor opción para el medio ambiente es su baja huella de carbono en comparación a otros combustibles, por ejemplo, es 20% menor que el diésel y 50% menos que el carbón, no tiene un efecto muy adverso en los suelos o acuíferos, tiene menor cantidad de material particulado y se estima que de los combustibles usados por la industria normalmente. El GLP en cuanto a gases de efecto invernadero es el que menos produce por cada 100 km de distancia recorrida; en la industria de la generación de energía eléctrica en Suramérica la huella de carbono es 30% menor y en Norteamérica es de un 50% menos (LPG Exceptional Energy, 2017).

3.7. Consideraciones tecnológicas y logísticas para la implementación del GLP en la generación de energía eléctrica.

3.7.1. Requerimientos técnicos y adaptaciones necesarias en los sistemas de generación eléctrica

Lora Rafael, Percy Andrés y Aguilar Juan, señalan en el documento “*Diseño de un sistema de generación eléctrica de 42 MW, alimentado con Gas Natural y Gas Licuado de Petróleo*”,

que de acuerdo con el estudio publicado por la Asociación Mundial de GLP denominado “LPG for Marine Engines, The Marine Alternative Fuel”, las siguientes máquinas son recomendadas para utilizar GLP:

Tabla 3. Máquinas de combustión internas recomendadas por la WLPGA

Empresa	Tipo	Serie
MAN	Motor de dos tiempos en ciclo Diésel	MAN ME-LGI series 14,15
Wartsilla	Motor de cuatro tiempos en ciclo Otto de mezcla pobre	Wartsilla 34SG
General Electric	Turbina a gas	LM2500

Fuente: (Lora, et al, 2019)

Aunado a lo anterior, en la siguiente tabla los autores consolidan otras máquinas que en el mercado tienen la capacidad de utilizar GLP y para cada una de ellas se describe la marca, el tipo de máquina, la referencia del equipo, la potencia eléctrica, la energía disponible en gases de escape, las emisiones de NO_x y CO₂. Asimismo, si bien con estas especificaciones técnicas las máquinas pueden operar con GLP, la eficiencia de estas puede estar supeditada a las condiciones ambientales del lugar donde sean instaladas y la calidad del combustible.

Tabla 4. Especificaciones técnicas de máquinas de combustión interna

Brand	Type	Serie	Power output ISO* [Mwe]	Exhaust energy [MM kJ/hr]	Heat Rate [Btu/kWh, LHV]	NO _x	CO ₂
General Electric	Aeroderivative Gas Turbine	LM2500	22,7 (36,6%)	142	9501	15 ppm	25/25
		LM2500+	30,6 (38,8%)	177	8988	25 ppm	25/25
		LM2500+G4	33,6 (39,2%)	189	8897	26 ppm	25/25
		LM6000 PC	50	237	8619	25	89/150
Siemens	Gas Turbine	SGT-700	32,8 (37,2%)	202	9171	< 15 vppm	< 20 vppm
Wärtsilä	Engine	9L345G	4,17 (3,15) ² (45,9%)	9,2	7434	95-190 mg/Nm ³	-
		16V345G	7,43 (5,6) ² (46%)	16,5	7411	95-190 mg/Nm ³	-
		20V345G	9,34 (7) ² (46,3%)	20,6	7373	95-190 mg/Nm ³	-
Mitsubishi - Hitachi	Gas Turbine	H-15	16,9 (16) ² (34,3%)	119	9431 (9950) ²	15 ppm	-
		H-25 (28)	27,5 (26,1) ² (33,8%)	198	9571 (9590) ²	15 ppm	-
		H-25 (32)	32 (30) ² (34,8%)	216	9295 (9314) ²	15 ppm	-
		H-25 (42)	41,9 (38,7) ² (37,2%)	247	8688 (8705) ²	15 ppm	-
MAN B&M	Dual Fuel Engine	8 S70ME-GI-S	25,19 (48%)	-	6957	<300 mg/NM3	-
		9 S80ME-GI-S	37,73 (48%)	-	6957	<300 mg/NM3	-

* ISO conditions at 15°C, 60% relative humidity, sea level

¹ Emissions @15%O₂

² LPG Burning

Fuente: (Lora, et al, 2019)

Teniendo en cuenta el concepto de eficiencia energética, los motores de combustión interna para generar energía eléctrica funcionan a partir de combustibles; una de las maneras de mantener o mejorar su rendimiento y a su vez reducir emisiones se han implementado diferentes soluciones como aumentar la relación del suministro de aire al sistema, establecer diferencias en los procesos de compresión al momento de la combustión para las cargas en las diferentes proporciones de mezclas, uso de bioetanol o biodiésel en la mezcla del combustible o adaptar los motores para que puedan funcionar con dos tipos de

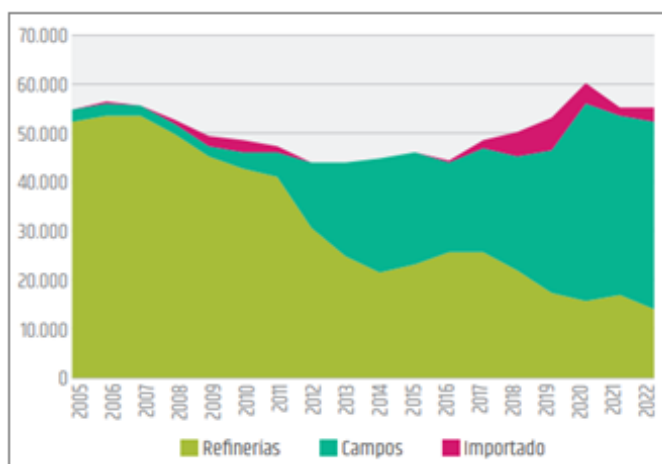
combustibles el cual uno de ellos pueda estar en estado gaseoso (Arango Gómez, et al, 2013).

Frente a las adaptaciones en los sistemas de generación eléctrica, la empresa COLGAS proporciona un sistema Bi-Fuel, el cual combina GLP y la presencia de aire en el sistema de admisión del motor. Esta mezcla se introduce en la cámara de combustión por tubo de admisión, siendo impulsado por una pequeña cantidad de combustible Diésel que ahora trabaja como una fuente de ignición y se inyecta en la cámara de combustión. Con este mecanismo, no sería necesario cambiar el motor Diésel, teniendo en cuenta que el sistema utiliza aire de admisión. Otras de las bondades que se señalan de este sistema, es que el motor ni el rendimiento se afectan, bajos costos de funcionamiento y reducción en las emisiones contaminantes (COLGAS, 2023).

3.7.2. Infraestructura de suministro y almacenamiento de GLP en el Archipiélago

Dado que el Archipiélago de San Andrés y Providencia no produce GLP localmente, depende del suministro de este combustible desde el continente colombiano o de otras fuentes internacionales si se ha importado GLP para satisfacer la demanda. En Colombia, cerca del 90% de la oferta de GLP proviene de fuentes nacionales y el restante importando (Informe anual de GLP 2022).

Ilustración 6. Declaración de producción de GLP

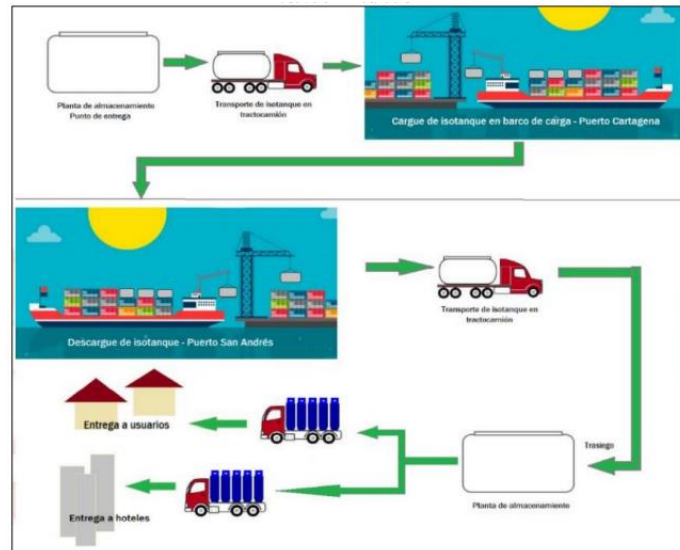


Fuente: GASNOVA (Informe anual de GLP 2022)

La regulación de la infraestructura de suministro y almacenamiento de GLP en el Archipiélago de San Andrés y Providencia está a cargo de las autoridades colombianas como el Ministerio de Minas y Energía y la Comisión de Regulación de Energía y Gas, las cuales han establecido las normas y regulaciones para garantizar la seguridad y la calidad del suministro de GLP en la región. Actualmente, el transporte del GLP se realiza vía marítima en barcos que contienen isotanques, los cuales son cargados en Cartagena y descargados en el puerto de San Andrés Islas, para luego ser llevados a las plantas de

almacenamientos que dispone la empresa de servicios públicos domiciliarios de GLP en cilindros, como se muestra en la siguiente ilustración (Superservicios, 2022).

Ilustración 7. Ruta de GLP, San Andrés



Fuente: Informe AEGR 2020 (Superservicios, 2022)

La planta de almacenamiento “Islas 1” está compuesta por 3 tanques estacionarios de 1000 galones cada uno y la planta “Islas 2”, con 3 tanques estacionarios de 10.000 galones cada uno.

Ilustración 8. Tanques de almacenamiento Islas 1 e Islas 2



Fuente: Informe AEGR 2020 (Superservicios, 2022)

3.7.3. Viabilidad logística y costos asociados a la utilización de GLP en la generación de energía eléctrica

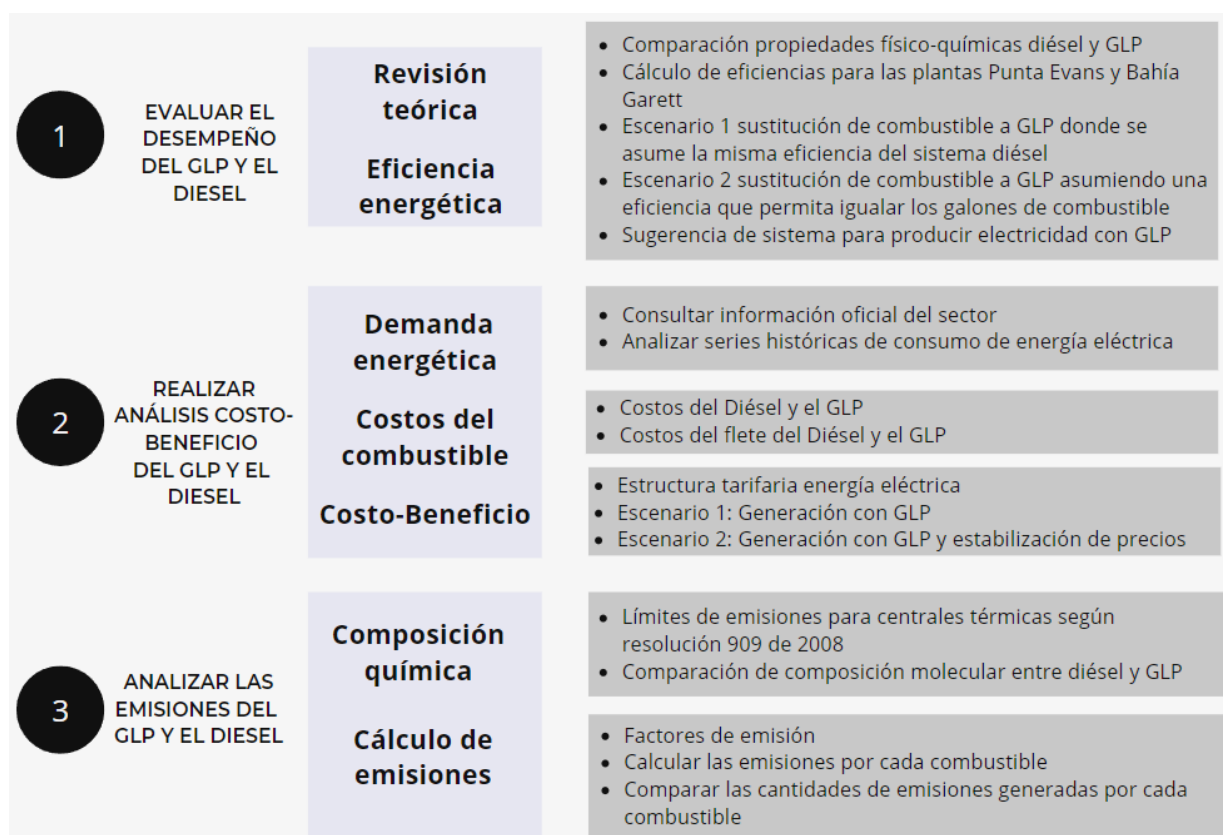
Como se mencionó anteriormente, el GLP debe transportarse a las islas vía marítima. La viabilidad logística en este caso depende de la disponibilidad del combustible, las rutas de

envío regulares y confiables desde el continente colombiano u otras fuentes internacionales. Para la viabilidad logística, la infraestructura de almacenamiento y distribución en las islas debe estar bien planificada y mantenerse en condiciones óptimas para evitar interrupciones en el suministro. Esto incluye tanques de almacenamiento, sistemas de transporte y seguridad. Los costos de compra de GLP, así como los costos de transporte desde los puntos de entrega del combustible hasta las islas, son factores clave a considerar ya que pueden fluctuar en función de los precios internacionales del petróleo y el gas.

4. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la evaluación de la eficiencia energética del Diésel con respecto al GLP para la generación de energía eléctrica en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, se plantean las siguientes etapas o actividades por cada uno de los objetivos formulados así:

Ilustración 9. Diagrama metodológico



Fuente: Elaboración propia

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. EVALUAR EL DESEMPEÑO DEL GLP Y EL DIESEL

5.1.1. Revisión teórica

Para los datos de las propiedades del GLP, en el acta de trabajos de verificación/calibración del sistema de medición de GLP Cupiagua de ECOPETROL S.A. de febrero de 2023, la fecha más actualizada de una muestra es del 30/01/2023, esta información se solicitó a través de un derecho de petición a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, la cual fue contestada mediante el Radicado SSPD No. 20232301682631, allí se encontró que la presión de vapor del GLP es de 170,97 psi y el poder calorífico es de 21.472 BTU/lb (Ecopetrol, 2023), en otro documento de la UPME se encontró que la densidad es de 2,083 kg/Gal y la densidad relativa de 0,55 para el año más reciente (UPME, 2017), en una de las fichas técnicas de Termoyopal expone que el punto de fusión es de -168 °C y el punto de ebullición es de -32,5 °C (Tygas, 2012), el poder calorífico inferior se obtuvo de la calculadora FECOC aplicativo generado por la UPME, el cual es de 45,413 MJ/Kg (UPME, s.f.).

Para el diésel los puntos de fusión y ebullición se tomaron de una hoja de datos de seguridad de ESMAX los cuales son 18 °C y 177 °C respectivamente (ESMAX, 2020), la presión de vapor se extrajo de la hoja de seguridad de la empresa COPEC donde se muestra un valor de 6,9 KPa (COPEC, 2022), de la calculadora FECOC se tomaron los datos de poder calorífico superior 44,403 MJ/Kg, poder calorífico inferior 41,869 MJ/Kg, densidad de 0,857 Kg/L, la densidad relativa para motores diésel es de 0,85 (García Oropesa, et al, 2009).

Con todos los datos extraídos, se hizo la conversión a medidas del sistema internacional de las propiedades que están en otras unidades como lo es la presión de vapor, PCS, densidad, punto de fusión, punto de ebullición para el GLP y punto de fusión, punto de ebullición para el diésel, posteriormente se construye una tabla comparativa:

Tabla 5. Comparación de propiedades del diésel y GLP

PROPIEDAD	DIESEL	GLP
Composición Molecular	Hidrocarburo saturado	Propanos y butanos
Estado de la materia	Líquido	Líquido/Gaseoso
Presión de Vapor KPa	6,9	1.177,98
Poder Calorífico Superior MJ/Kg	44,403	49,89
Poder Calorífico Inferior MJ/Kg	41,869	45,413
Densidad (Kg/L)	0,857	0,562
Densidad Relativa	0,85	0,55
Punto de Fusión °K	291,15	105,15
Punto de ebullición °K	450,15	240,65
Almacenamiento	Tanques	Tanque presurizado

Fuente: Elaboración propia

Composición: La fórmula molecular del diésel suele ser $C_{12}H_{23}$ y la del GLP es C_3H_8 para propanos y C_4H_{10} para butanos, la estructura del diésel es lineal, mientras que la estructura del GLP puede ser lineal o ramificada, el diésel tiene una cadena de carbono más larga que el GLP, el GLP tiene una estructura más ramificada que el diésel, lo que le da una mayor solubilidad en agua y una menor tendencia a formar depósitos de carbón. En cuanto a las similitudes, ambos son hidrocarburos saturados, lo que significa que tienen todos los enlaces de hidrógeno posibles, los dos son combustibles fósiles y pueden ser usados para la generación de energía eléctrica.

Estado: El diésel es un líquido a temperatura ambiente y presión atmosférica, mientras que el GLP es un gas a temperatura ambiente y presión atmosférica, para el almacenamiento y transporte de este, se comprime y licua para convertirlo en un líquido, comercial e industrialmente estos dos combustibles se presentan en estado líquido, teniendo características similares en almacenamiento, medida o transporte.

Presión de vapor: El diésel tiene una presión de vapor muy baja a temperaturas ambiente cercana a cero, tiene una baja tendencia a evaporarse a temperaturas normales y es menos volátil que otros combustibles, esto lo hace seguro de manejar y almacenar sin riesgo significativo de evaporación o fugas significativas a temperaturas normales, El GLP tiene una presión de vapor considerablemente más alta en comparación con el diésel, lo cual influye bastante en la forma de almacenamiento para no tener pérdidas o riesgos de explosión.

Poder Calorífico Superior (PCS): Como se puede observar, el PCS del diésel es más bajo en comparación con el GLP por unidad de masa, lo que significa que libera mayor cantidad total de calor durante la combustión completa. De esta manera, el GLP tendría una ventaja como propiedad de potencial de generación de energía.

Poder Calorífico Inferior (PCI): En esta propiedad no se tiene en cuenta el calor latente de vaporización y se evidencia que el GLP tiene un valor mayor, reforzando el hecho que tiene una mejor característica para generar energía.

Densidad relativa y densidad: La densidad es una propiedad importante para considerar al elegir un combustible para generar energía eléctrica, los combustibles con mayor densidad son más fáciles de almacenar y transportar, ya que ocupan menos volumen, en el caso del diésel y el GLP, la densidad del GLP es menor, lo que significa que ocupa más volumen que el diésel, esto puede ser una desventaja a la hora de almacenar y transportar el GLP, ya que requiere tanques o infraestructura más grandes.

Punto de fusión: En condiciones de frío extremo, el GLP es más susceptible a la congelación que el diésel, esto puede causar problemas en los sistemas de combustible y en los motores, por lo tanto, solo de acuerdo a esta propiedad, el diésel sería una mejor opción para generar energía eléctrica en climas fríos, el diésel tiene un punto de fusión más alto, lo que significa que es menos probable que se congele, en climas cálidos esta propiedad no es tan relevante, ya que el diésel y el GLP tienen una probabilidad similar de congelarse.

Punto de ebullición: El GLP tiene un punto de ebullición mucho más bajo que el diésel, es una propiedad relevante a la hora de elegir un combustible para generar energía eléctrica, en climas cálidos, es importante elegir un combustible con un punto de ebullición alto, para evitar que hierva y cause problemas en los motores, por lo que en este caso sería mejor el diésel.

Almacenamiento: El diésel se almacena en tanques y se transporta en camiones cisterna o contenedores, aprovechando su alta densidad por unidad de volumen, esto facilita el almacenamiento eficiente en términos de espacio y su distribución. Por otro lado, el GLP líquido se almacena y transporta en tanques o cilindros diseñados específicamente para mantenerlo en estado líquido a presiones moderadas. Aunque el GLP tiene una densidad de energía más alta por unidad de volumen en comparación con el gas, su transporte y almacenamiento requieren cuidados adicionales debido a su estado líquido.

Hasta el momento se ha hecho un comparativo de las características propias de cada combustible, ahora se hace una descripción del proceso de generación de energía eléctrica en la isla. La central de generación en San Andrés se denomina Punta Evans la cual tiene 10 unidades de generación con una potencia instalada de 64,99 MW, donde luego se transmite la potencia a las subestaciones El Bight y School House. En Providencia la central de generación Bahía Garrett tiene una capacidad instalada de 3,55 MW con 3 unidades, esta planta también genera electricidad para Santa Catalina (Superservicios, 2022).

Tabla 6. Capacidad instalada de generación en San Andrés - Punta Evans

#	Planta	Identificador	Marca	Capacidad (kW)	ESTADO
1	1	MB1	Mirrlees Blackstone 70561	9.600	Operativa
2	1	MB2	Mirrlees Blackstone 70562	9.600	En reparación
3	2	EMD 9	General Motor EMD 94N11009	2.865	Operativa
4	2	EMD 10	General Motor EMD 96G11014	2.865	Operativa
5	2	EMD 11	General Motor EMD 96J11005	2.865	Operativa
6	2	EMD 12	General Motor EMD 96H11009	2.865	Operativa
7	2	EMD 13	General Motor EMD 96K11023	2.865	Operativa
8	2	EMD 14	General Motor EMD 96K11026	2.865	Operativa
9	3	MAN 1	Man Diésel 1135455	14.300	Operativa
10	3	MAN 2	Man Diésel 1135580	14.300	En reparación
11		P RSU		1.950	Operativa

Fuente: Superservicios

Tabla 7. Capacidad instalada de generación en Providencia y Santa Catalina - Bahía Garrett

#	Identificador	Marca	Capacidad (kW)	Estado
1	EMD1	General Motor EMD L8-645	745	OPERATIVA
2	EMD2	General Motor EMD L8-710G4B	1.400	OPERATIVA
3	EMD3	General Motor EMD L8-710G4B	1.400	OPERATIVA

Fuente: Superservicios

En los datos oficiales no se encontraron las eficiencias del sistema de generación termoeléctrica, lo cual es un dato relevante para revisar. Los motores diésel tienen una eficiencia del 30 al 45% teóricamente por lo que se hará el cálculo de la eficiencia en las plantas Bahía Garrett de Providencia y Punta Evans de San Andrés. Según la información suministrada de forma oficial por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, se describen mensualmente los galones de diésel suministrados al sistema y la producción

en MWh, con esos dos datos oficiales más el poder calorífico y la densidad se pueden establecer las relaciones para hallar la eficiencia. Primero se dejará plasmada la cantidad de MWh que puede producir el diésel y el GLP por cada litro o cada galón de combustible, para esto se toman de la tabla 8 los valores de poder calorífico y densidad:

Diésel:

$$\text{Poder Calorífico} = 44,403 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} * 0,857 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ MWh}}{3.600 \text{ MJ}} = 0,01057 \frac{\text{MWh}}{\text{L}} * \frac{3,785 \text{ L}}{1 \text{ Gal}} = 0,04 \frac{\text{MWh}}{\text{Gal}}$$

GLP:

$$\text{Poder Calorífico} = 49,89 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} * 0,562 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ MWh}}{3.600 \text{ MJ}} = 0,00778 \frac{\text{MWh}}{\text{L}} * \frac{3,785 \text{ L}}{1 \text{ Gal}} = 0,0294 \frac{\text{MWh}}{\text{Gal}}$$

$$\% \text{ de diferencia} = 100 - \left(\frac{0,0294 \times 100}{0,04} \right) = 26,5$$

De los anteriores cálculos se denota que en términos de energía generada por la masa del combustible el GLP tenía un mayor poder calorífico que el diésel, pero al comparar el diésel en términos de energía por unidad de volumen se invierte la relación, ya que, la densidad juega un papel fundamental haciendo que el GLP produzca un 26,5% menos de MWh por galón. Ahora, se toma como referencia el primer dato que corresponde a enero de 2019 donde los galones de diésel utilizados y el consumo en MWh son datos oficiales de la empresa, para calcular la eficiencia energética y luego se construye una tabla (*Anexo 4. Eficiencias energéticas mensuales de las plantas Punta Evans y Bahía Garrett*) para el resto de los meses:

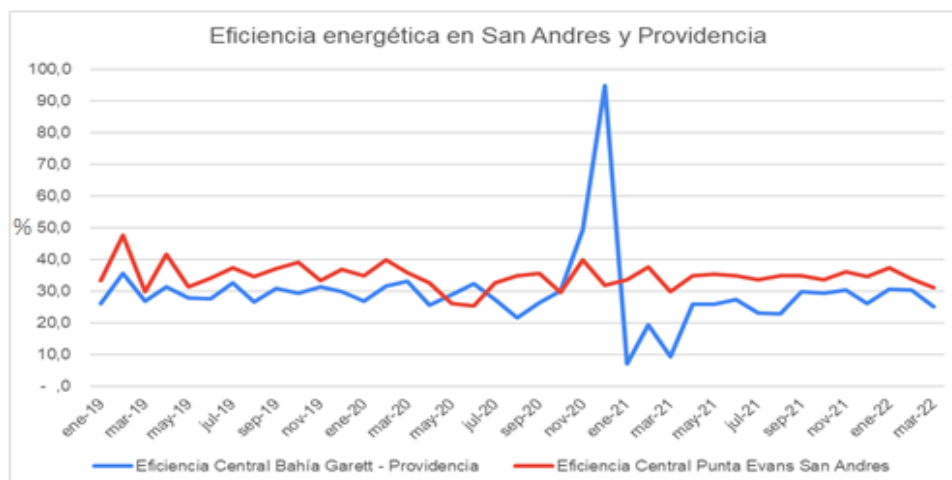
$$\text{Energía térmica} = \text{Poder Calorífico del combustible} \times \text{Volumen de combustible}$$

$$\text{Energía térmica} = 0,04 \frac{\text{MWh}}{\text{Gal de diesel}} * 1.145.400 \text{ Gal de diesel} = 45.816 \text{ MWh}$$

$$\text{Eficiencia energética} = (\text{Consumo Mensual} / \text{Energía térmica}) * 100$$

$$\text{Eficiencia energética} = \frac{15.272}{45.816} * 100 = 33,3\%$$

Ilustración 10. Eficiencia energética en las plantas de San Andrés y Providencia



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la información del Anexo 4, la eficiencia energética promedio de las plantas termoeléctricas de San Andrés y Providencia son 34,7% y 29,4%, es decir un promedio de 32,05% entre las dos plantas del archipiélago lo cual es acorde con la eficiencia para este tipo de procesos, en el gráfico se pueden observar eficiencias similares entre las dos centrales, pero hay un comportamiento anormal en los datos de noviembre de 2020 a marzo de 2021 en Providencia, los cuales coinciden con el paso del huracán Iota por la isla que dejó bastantes estragos en la zona por esas fechas, en la información oficial suministrada no hay aclaraciones de estos datos anormales, por lo que se puede deducir que una de las posibilidades es que hubo un error en la medición de la energía suministrada durante esos meses o de los galones de diésel utilizados, lo cual altera el cálculo de la eficiencia.

5.1.2. Sustitución de combustible a GLP

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que en llegado caso de una sustitución de combustible para generar energía eléctrica en el archipiélago, se necesitaría saber cuántos galones de GLP aproximadamente se necesitan comprar para producir la misma cantidad de energía que se generaba con diésel, aquí juega un papel muy importante la eficiencia del proceso, por lo tanto, en primera instancia para este cálculo se tomará el dato del promedio de energía térmica del Anexo 4 y en este primer escenario se asumirá que la eficiencia promedio del proceso será la misma, por lo tanto se iguala la energía térmica del diésel al GLP para así calcular el volumen necesario:

$$\text{Energía térmica} = \text{Poder Calórico del combustible} \times \text{Volumen de combustible}$$

$$\text{Volumen de combustible} = \frac{\text{Energía térmica}}{\text{Poder Calórico del combustible}}$$

$$\text{Volumen de combustible en San Andrés} = \frac{41.235 \text{ MWh}}{0,0294 \text{ MWh/Gal}} = 1.402.551 \text{ Gal de GLP}$$

$$\text{Volumen de combustible en Providencia} = \frac{2.936 \text{ MWh}}{0,0294 \text{ MWh/Gal}} = 99.864 \text{ Gal de GLP}$$

Es decir, si en una sustitución total de combustibles se tuvieran las mismas eficiencias en el sistema, se pasaría de necesitar en promedio 1.030.885 galones mensuales de diésel a 1.402.551 galones mensuales de GLP para el caso de San Andrés, en el caso de providencia se pasaría de utilizar 73.403 galones de diésel a utilizar 99.864 galones de GLP. Ahora se deja indicado cuantos galones de combustible se necesitarían por cada MWh producido en energía térmica:

$$\text{Galones de diesel} = \frac{1 \text{ MWh}}{0,04 \text{ MWh/Gal}} = 25 \text{ Gal}$$

$$\text{Galones de GLP} = \frac{1 \text{ MWh}}{0,0294 \text{ MWh/Gal}} = 34, \text{ Gal}$$

$$\frac{34 \text{ Gal GLP}}{25 \text{ Gal Diésel}} = 1,36$$

Se necesitan 1,36 galones más de GLP para producir 1 MWh de energía térmica lo que también es equivalente a un 36% más de galones de GLP en comparación al diésel, si los procesos tuvieran la misma eficiencia. Sin embargo, en una posible sustitución la eficiencia cambiará, por lo tanto, se deja indicada la forma para calcular los galones de GLP necesarios para igualar la energía eléctrica generada por el diésel, así:

$$\text{Energía eléctrica generada} = \text{Energía térmica} \times \text{Eficiencia energética}$$

$$\text{Energía térmica} = \frac{\text{Energía eléctrica generada}}{\text{Eficiencia energética}}$$

$$\text{Poder calorífico GLP} \times \text{Volúmen} = \frac{\text{Energía eléctrica generada}}{\text{Eficiencia energética}}$$

$$\text{Volúmen} = \frac{\text{Energía eléctrica generada}}{\text{Eficiencia energética} \times \text{Poder Calorífico GLP}}$$

Según lo anterior, la mejor forma de reducir el número de galones de GLP que se necesitan es teniendo un proceso lo más eficiente posible, por lo cual también se plantea el valor que

la eficiencia necesitaría tener en un caso hipotético para igualar la cantidad de galones de GLP y diésel, para esto se toman los datos promedio de consumo en MWh/mes y galones de diésel utilizado para San Andrés y Providencia según la tabla del Anexo 4.

$$Eficiencia\ energética = \frac{Energía\ eléctrica\ generada}{Energía\ térmica}$$

$$Eficiencia\ energética = \frac{Energía\ eléctrica\ generada\ MWh}{Poder\ calorífico\ GLP\ MWh/Gal \times Gal\ de\ combustible}$$

$$Eficiencia\ energética\ San\ Andrés = \frac{14.235\ MWh}{0,0294\ MWh/Gal \times 1.030.885\ Gal} \times 100 = 46,96\ \%$$

$$Eficiencia\ energética\ Providencia = \frac{814\ MWh}{0,0294\ MWh/Gal \times 73.403\ Gal} \times 100 = 37,71\ \%$$

En San Andrés si se tiene un proceso de generación de energía eléctrica con GLP con un promedio de 46,96 % de eficiencia, se necesitaría la misma cantidad de galones de GLP que la que se necesitaba con diésel, en el caso de Providencia se necesitaría una eficiencia aproximada de 37,71% lo cual en términos de costos favorece bastante para temas de transporte, almacenamiento y logística. Relacionando lo anterior, si la sustitución a GLP tuviera la misma eficiencia que tenía el diésel se necesitaría un promedio de 99.864 galones de GLP para satisfacer la demanda energética, pero con una eficiencia aproximada de 37,71% se necesitarían los mismos 73.403 galones de combustible que se usaban con el sistema diésel.

Tabla 8. Resumen comparativo entre el diésel y GLP

ÍTEM	DIESEL	GLP
Poder Calorífico (MJ/Kg)	44,403	49,89
Poder Calorífico (MJ/Gal)	0,04	0,0294
Cantidad de galones necesarios para producir 1 MWh de energía térmica	25	34
Eficiencia promedio necesaria para producir 1 MWh de energía eléctrica en San Andrés con la misma cantidad de combustible	34,7 %	46,96 %
Eficiencia promedio necesaria para producir 1 MWh de energía eléctrica en Providencia con la misma cantidad de combustible	29,4 %	37,71%

Fuente: Elaboración propia

También como resumen para la continuación del trabajo se plantearán los dos escenarios de sustitución que sirven como puntos de referencia para las respectivas comparaciones:

- **Escenario 1:** Sistema de generación de energía eléctrica con GLP manteniendo la misma eficiencia que tiene el sistema de generación con diésel
- **Escenario 2:** Sistema de generación de energía eléctrica con GLP de 46,96% y 37,71% para San Andrés y Providencia respectivamente con el objetivo de igualar la cantidad de galones de los dos combustibles.

En la revisión bibliográfica se encontró que en la isla Roatan de Honduras, la empresa RECO hizo un análisis donde se concluyó que el GLP era el combustible más adecuado para generar energía eléctrica con cuatro motores de referencia Wartsila 20V34SG-LPG con capacidad de generar 28 MW de potencia. En una tesis de la Universidad del Norte, se diseñó un sistema de generación eléctrica de 42 MW con gas natural y GLP como combustibles, se analizaron tecnologías para producir electricidad con GLP y para ello realizaron una matriz de evaluación mediante la metodología AHP donde compararon varias tecnologías y marcas para generar electricidad y la mejor calificada fue la de motores Wartsila 20V34SG-LPG, estos son de combustión interna que en comparación a las turbinas tienen mayor eficiencia de conversión a energía eléctrica (Lora Polo, et al, 2019).

Revisando la ficha técnica de este tipo de motores se tiene que cada uno tiene una potencia de 4,2 a 7,4 MW, también pueden funcionar con gas natural y puede ofrecer una eficiencia eléctrica de 45,8% (WARTSILA, 2022), como se mencionó anteriormente uno de los escenarios planteados es igualar la cantidad de galones de diésel a los de GLP y para esto se necesitaría una eficiencia energética de 46,96% en San Andrés y 37,71% en Providencia, los motores Wartsila se adaptarían bastante bien a una posible sustitución de combustibles en el archipiélago aunque se resalta que habría que hacer un estudio más a detalle para la implementación del grupo electrógeno.

5.2. REALIZAR ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DEL GLP Y EL DIESEL

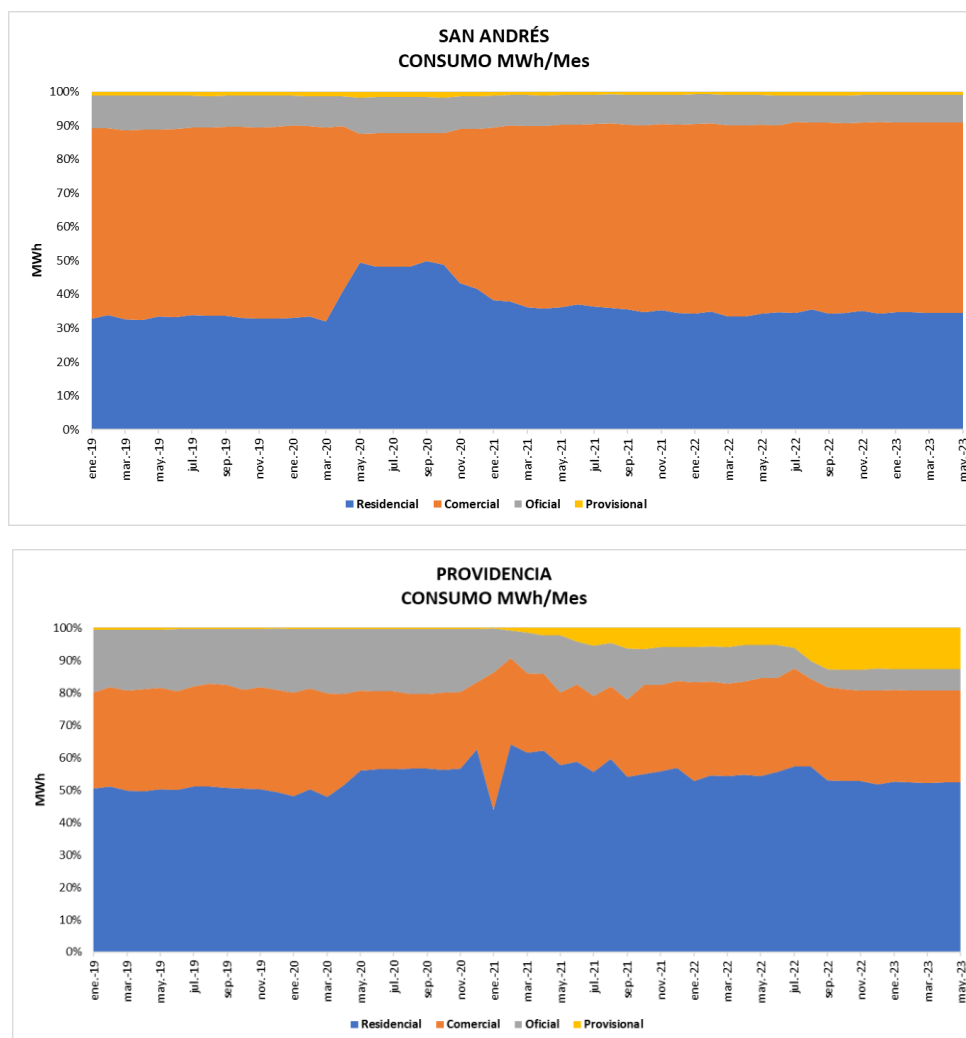
5.2.1. Caracterización de la demanda energética

De acuerdo con las proyecciones de población a nivel departamental del DANE, periodo 2020 – 2050, para el 2023 la población de San Andrés y Providencia es de 62.269 habitantes. El 52 % son mujeres con un total 32.571 y el 48 % son hombres con un total de 29.698. (DANE, 2023). Ahora bien, con el propósito de contar con la información histórica de los consumos de energía eléctrica, se solicitó a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios copia de los registros desde el 2019, que reposan en el Sistema Único de Información (SUI)¹, y que han sido certificados por la empresa Sociedad Productora de Energía de San Andrés y Providencia S.A. E.S.P. (SOPESA S.A E.S.P)., la cual es la empresa que opera en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (SSPD, s.f.).

¹ Sistema Único de Información (SUI): es el sistema oficial del sector de servicios públicos domiciliarios del país que recoge, almacena, procesa y publica información reportada por parte de las empresas prestadoras y entidades territoriales.

Con base en lo anterior, fue posible determinar que el consumo de energía eléctrica en promedio para el año 2022 fue de un poco más de 15.000 MWh/Mes para San Andrés y para Providencia de 1.000 MWh/Mes como se muestra en la tabla del Anexo 5. Asimismo, el consumo de la energía en San Andrés está concentrada principalmente en los sectores comercial con un 54 % y residencial en un 36 %. Aunado a lo anterior, el sector comercial, el cual lo componen principalmente las cadenas hoteleras de la isla, presentó una reducción a partir de marzo del 2020, a raíz de la pandemia COVID -19, como puede observarse en la siguiente ilustración.

Ilustración 11. Distribución del consumo MWh/Mes en San Andrés y Providencia, por sector de consumo



Fuente: Elaboración propia, a partir de información suministrada por la Superservicios, Radicado SSPD No. 20232031820831 del 19/05/2023

En Providencia, el consumo está concentrado en un 54 % en el sector residencial y en un 28 % en el comercial principalmente. También es oportuno mencionar que, los sectores residencial, comercial y oficial, presentaron una reducción hacia finales del 2020, a causa

de las afectaciones que generaron el paso del huracán *Iota*, lo cual conllevó a que el sector provisional aumentara como puede observar.

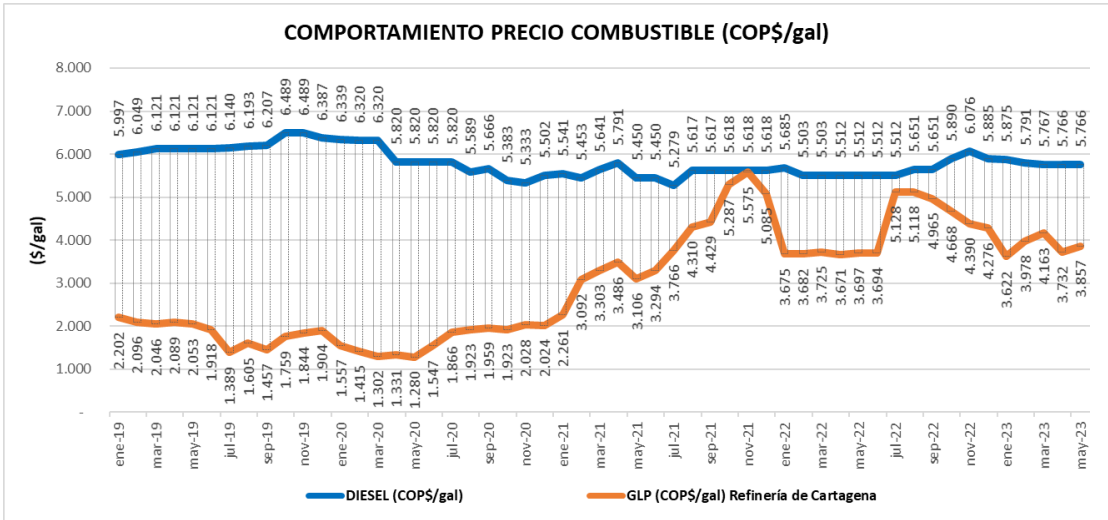
5.2.2. Costos del Diésel y el GLP

En la tabla del Anexo 6, se consolida mes a mes desde enero del 2019 y hasta mayo de 2023, la información de los precios del diésel con destino a San Andrés para generación eléctrica y la información de precios de GLP regulado de la fuente de producción Cartagena. Es importante señalar que, con base en las publicaciones realizadas mensualmente por ECOPETROL S.A., estos precios no incluyen el valor del flete por concepto de transporte marítimo del combustible hasta la isla de San Andrés.

Si bien las fluctuaciones de los precios del petróleo pueden tener un impacto significativo en los costos de generación de energía eléctrica, el diésel estuvo constante desde enero de 2019 y hasta mayo de 2023, tuvo un valor promedio de 5.806 (COP\$/gal), una desviación estándar de 313 (COP\$/gal), un valor mínimo de 5.279 (COP\$/gal) y un máximo de 6.489 (COP\$/gal).

Para el caso del GLP, tal como puede observarse en la siguiente ilustración, el (COP\$/gal) presentó fluctuaciones considerables a partir del 2021. El valor promedio fue de 3.010 (COP\$/gal), con una desviación estándar de 1.292 (COP\$/gal), un valor mínimo de 1.280 (COP\$/gal) y un máximo de 5.575 (COP\$/gal).

Ilustración 12. Comportamiento compra del combustible



Elaboración propia, a partir de información publicada por (ECOPETROL, 2023)

La volatilidad en el precio del GLP que se presentó desde el 2021, estuvo relacionado con el componente de suministro G (Costo de compra del GLP (COP\$/gal), a causa del aumento de los precios internacionales de referencia de propanos y butanos bajo el indicador Mont Belvieu de Estados Unidos, como también, a la Tasa Representativa del Mercado (TRM),

toda vez que, conforme lo señala la Resolución CREG 066 de 2007, estos precios de suministro del GLP nacional, están supeditados a los anteriores indicadores (CREG, 2007).

Aunado a lo anterior, como medida para minimizar los impactos generados en el mercado a causa del aumento de los precios del GLP, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), en ejercicio de sus atribuciones legales, en especial las conferidas por las Leyes 142 y 143 de 1994, y en desarrollo de los Decretos 1524 y 2253 de 1994, y 1260 de 2013, a través de la Resolución No. 108 de 2021, definió una opción tarifaria para el suministro de GLP (CREG, 2021).

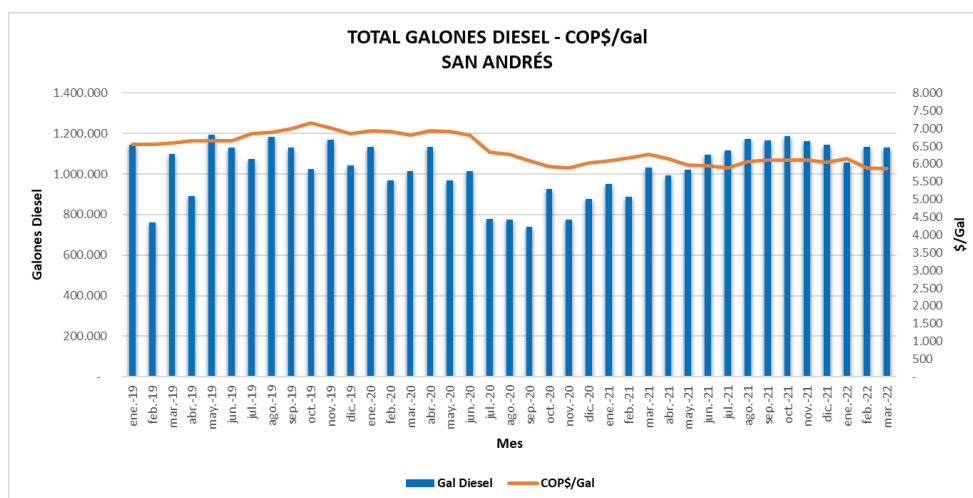
Mediante la anterior opción tarifaria, la CREG buscó estabilizar el componente de suministro G, aunque siguiera aumentando el precio internacional del GLP de referencia utilizado para determinar el precio máximo regulado de suministro para el GLP de producción nacional. Adicionalmente, otra de las medidas adoptadas para estabilizar los precios de suministro G del GLP, correspondió a la anunciada por ECOPETROL S.A. en el mes de diciembre de 2021, donde informó mediante comunicado de prensa que realizaría una reducción del precio de suministro de GLP por seis meses a partir de enero y hasta junio de 2022, dada la coyuntura de mercado, manteniendo el precio a niveles de opción tarifaria así: interior: 1577 (COP\$/kg) y zona norte: 1909 (COP\$/kg) (PORTAFOLIO, 2022)

Es por esto por lo que, en la anterior ilustración vemos que el (COP\$/gal) entre enero y junio de 2022, se situó aproximadamente en los 3.670 (COP\$/gal), lo cual representó una reducción del 28 % en comparación con el precio del mes de diciembre de 2021, esto es, 1.400 (COP\$/gal) menos.

5.2.3. Costo del combustible para la generación de energía en San Andrés, Providencia y Santa Catalina

Desde enero de 2019, hasta marzo de 2022, en promedio mensual la empresa SOPESA S.A. E.S.P. compró 1.030.885 galones de Diésel para San Andrés, por un valor unitario de COP\$/gal 6.411 y un total de COP 6.617.800.513. Ahora bien, para Providencia fueron comprados alrededor de 73.403 galones de Diésel por un valor de COP\$/gal 6.414 y un total de COP 472.323.765, los valores exactos de cada mes se relacionan en el Anexo 7. Asimismo, en la siguiente gráfica se observa el comportamiento de la compra de galones de Diésel y el COP\$/gal para San Andrés, como también, la disminución en la cantidad del combustible comprado en el 2020, que conecta con la pandemia por COVID – 19.

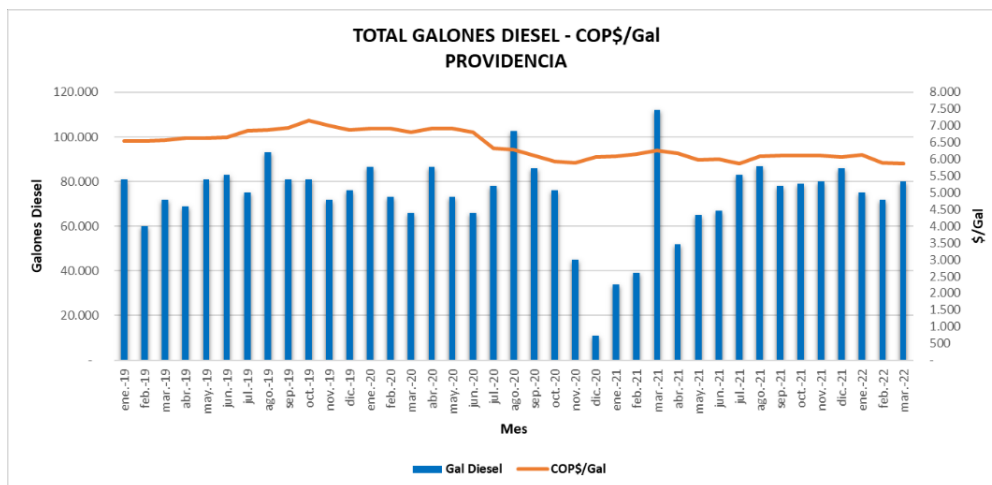
Ilustración 13. Galones de combustibles comprados y COP\$/Gal San Andrés



Fuente: Elaboración propia, a partir de información suministrada por la Superservicios, Radicado SSPD No. 20232031820831 del 19/05/2023

Adicionalmente, además de las afectaciones a causa de la pandemia por COVID -19, la isla estuvo gravemente impactada por el paso del huracán Iota a finales del año 2020, lo cual conllevó que se redujeran las compras del combustible, como se observa a continuación para Providencia:

Ilustración 14. Galones de combustibles comprados y COP\$/Gal Providencia



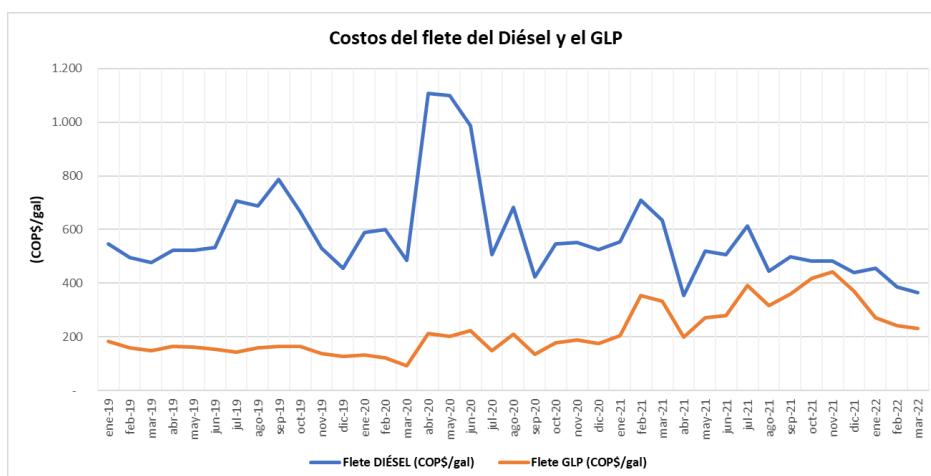
Fuente: Elaboración propia, a partir de información suministrada por la Superservicios, Radicado SSPD No. 20232031820831 del 19/05/2023

5.2.4. Costos del flete del Diésel y el GLP

Con base en la información del costo de compra del Diésel (DIÉSEL (COP\$/gal) con flete) reportado por la empresa SOPESA S.A. E.S.P. desde enero de 2019, hasta marzo de 2022 y de los precios del Diésel (DIÉSEL (COP\$/gal) sin flete) con destino a San Andrés para generación eléctrica publicados por ECOPETROL S.A., fue posible obtener una aproximación al valor del flete por concepto de transporte marítimo del combustible hasta la isla de San Andrés, a partir de la diferencia entre estos dos.

Para calcular el flete del GLP, se utilizó el porcentaje que ocupa el flete en el costo del Diésel y se multiplicó este valor por el precio del GLP (COP\$/gal) publicado por ECOPETROL S.A., como se detalla en la tabla del Anexo 8. Aunado a lo anterior, fue posible identificar que el promedio del flete del Diésel fue de 576 (COP\$/gal) y el del GLP de 220 (COP\$/gal), esto es, en promedio 300 (COP\$/gal) menos que el Diésel. Asimismo, el Diésel para los meses de abril, mayo y junio de 2020, presentó un incrementó de cerca del 100%, presuntamente a causa de la pandemia por COVID 19.

Ilustración 15. Costos del flete del Diésel y el GLP



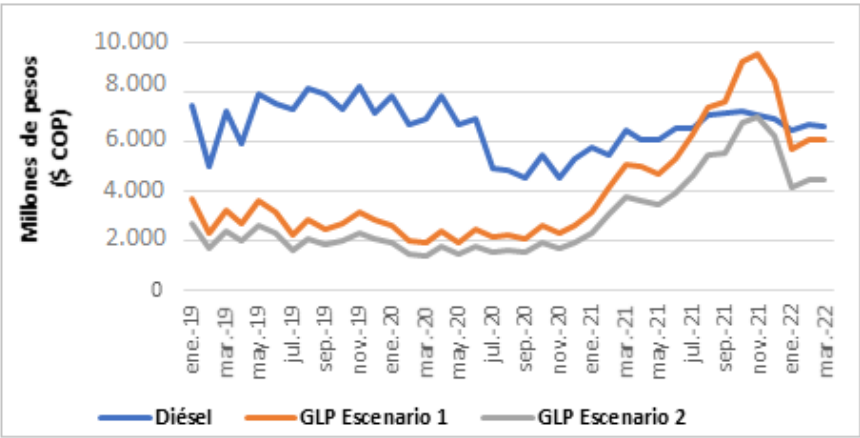
Fuente: Elaboración propia

Así las cosas, para conocer el costo del GLP para la generación de energía en San Andrés, Providencia y Santa Catalina, se utilizó la información de loa anexos 4, 7 y 8, lo cual permitió construir los costos que tendría la sustitución del combustible en los escenarios planteados y los resultados se encuentran consolidados en la tabla del Anexo 9.

Con base en lo anterior, en el escenario 1 para San Andrés el combustible en promedio que se hubiese comprado si la generación de energía eléctrica fuera con GLP sería de alrededor de 1.402.565 galones de GLP por un valor de COP\$/gal 2.799 y un total de COP 4.009.848.484 es decir, \$2.607.908.710 menos. Para Providencia, el combustible en promedio que se hubiese comprado sería de alrededor de 99.867 galones de GLP por un valor de COP\$/gal 2.799 y un total de \$282.555.392, equivalente a \$144.766.305 menos que el Diésel. Como lo hemos mencionado, la estructura del precio del GLP cuenta con unos indicadores internacionales lo cual conlleva a que presente volatilidad de precios. En

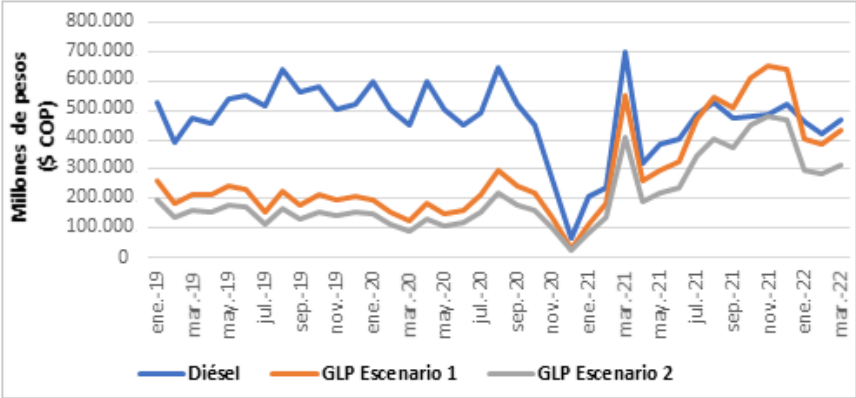
las siguientes gráficas puede observarse los costos del combustible Diésel y GLP para San Andrés y para Providencia.

Ilustración 16. Costos del Diésel y sustitución a GLP (COP\$) para San Andrés



Fuente: Elaboración propia, a partir de información suministrada por la Superservicios, Radicado SSPD No. 20232031820831 del 19/05/2023

Ilustración 17. Costos del Diésel y sustitución a GLP (COP\$) para Providencia



Fuente: Elaboración propia, a partir de información suministrada por la Superservicios, Radicado SSPD No. 20232031820831 del 19/05/2023

Finalmente, al comparar el precio del galón (COP\$/gal) para cada tipo de combustible, vemos que el GLP para el periodo analizado es más económico que el Diésel, entre 85 y 5.437 (COP\$/gal), es decir, hasta un 79% menos. Un indicador importante para tener en cuenta es la relación entre el costo total por combustible por cada MWh producido en las plantas de generación, en la siguiente tabla se muestra dicha relación con la información promedio de las tablas construidas anteriormente:

Tabla 9. Promedio mensual de Costo/MWh

SAN ANDRES								
DIESEL			GLP ESCENARIO 1			GLP ESCENARIO 2		
COSTO TOTAL COMBUSTIBLE	MWh	\$/MWh	COSTO TOTAL COMBUSTIBLE	MWh	\$/MWh	COSTO TOTAL COMBUSTIBLE	MWh	\$/MWh
\$ 6.617.800.513	14.235	\$ 464.894	\$ 4.009.848.484	14.235	\$ 281.688	\$ 2.947.238.643	14.235	\$ 207.041
PROVIDENCIA								
DIESEL			GLP ESCENARIO 1			GLP ESCENARIO 2		
COSTO TOTAL COMBUSTIBLE	MWh	\$/MWh	COSTO TOTAL COMBUSTIBLE	MWh	\$/MWh	COSTO TOTAL COMBUSTIBLE	MWh	\$/MWh
\$ 472.323.765	814	\$ 580.305	\$ 282.555.392	814	\$ 347.152	\$ 207.678.272	814	\$ 255.157

Fuente: Elaboración propia

5.2.5. Estructura tarifaria energía eléctrica en San Andrés y Providencia

La resolución CREG 073 de 2009, “Por la cual se modifica la Resolución CREG 160 de 2008”, define la fórmula tarifaria general que a la fecha se aplica para los usuarios del servicio público domiciliario de energía eléctrica en San Andrés y Providencia (CREG, 2009).

La fórmula tarifaria tiene los siguientes componentes:

$$CU_{n,m} = IAOM_{n,m} + \frac{Gc_m + A_m}{(1 - p_{n,m})} + M_m$$

Donde:

CUn,m: Costo Unitario de Prestación del Servicio de Energía Eléctrica, para el nivel de tensión n, para el mes m, expresado en pesos por kilovatio hora (\$/kWh).

IAOMn,m: Remuneración de la inversión y de los gastos de Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) en generación, distribución por nivel de tensión n del Sistema de Distribución y comercialización, para el mes m. En estos gastos no se consideran los combustibles de origen fósil, o las mezclas obligatorias de estos con biocombustibles por disposición gubernamental, utilizados en la operación.

Gcm: Remuneración de los costos de los combustibles de origen fósil, o de las mezclas obligatorias de estos con biocombustibles por disposición gubernamental, puestos en el sitio de operación de las plantas del Parque de Generación, para el mes m. Este valor, expresado en pesos por kilovatio hora (\$/kWh).

Am: Ahorro en los costos de combustibles de origen fósil, ya sea por la adecuación de las plantas de generación, por el reemplazo de alguna de estas o por la sustitución de combustible, en el mes m, expresado en pesos por kilovatio hora (\$/kWh)

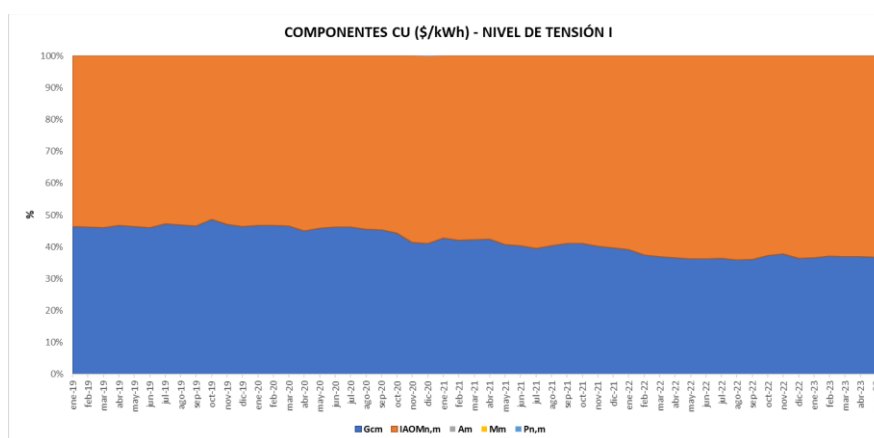
pn,m: Pérdidas de energía en el nivel de tensión n del Sistema de Distribución, para el mes m. Este nivel de pérdidas será el ofertado por el adjudicatario de la Obligación de Prestación del Servicio en la propuesta que presente en el Proceso Competitivo. El valor de pn,m se expresa como una fracción.

Mm: Cargo de la Actividad Monitoreo, para el mes m, expresado en pesos por kilovatio hora (\$/kWh) (CREG, 2009).

Ahora bien, con base en la información publicada por SOPESA S.A E.S.P., en la tabla del Anexo 10, se consolidan las tarifas que ha venido aplicando la empresa para cada nivel de tensión, desde enero de 2019, hasta mayo de 2023 (SOPESA, 2023).

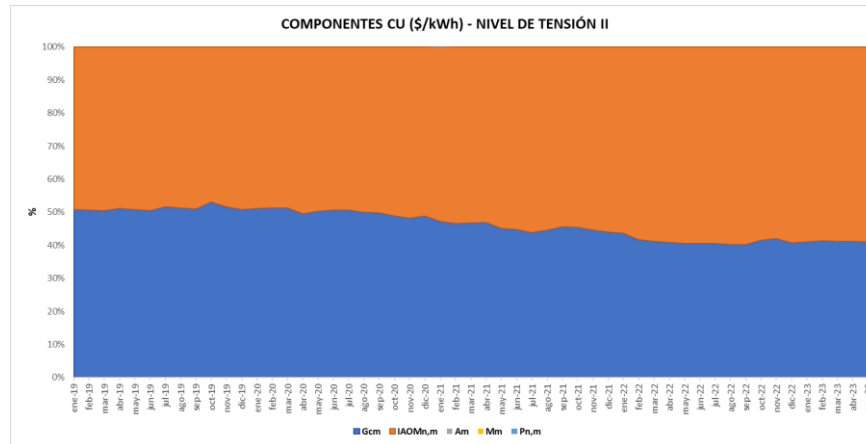
En términos generales, dentro del Costo Unitario de Prestación del Servicio de Energía Eléctrica para cada nivel de tensión, la remuneración de la inversión y de los gastos AOM en promedio han representado un poco más del 50 % y los costos asociados al combustible hasta un 45 %. Asimismo, el componente (Am), por concepto de ahorro en los costos de combustibles de origen fósil ha sido cero (0), al igual que el cargo (Mm) porque a la fecha no funciona para las zonas no interconectadas (ZNI) un gestor o un agente que realice el monitoreo del mercado, como si funciona para el sistema interconectado nacional (SIN) con la empresa XM Administradores del mercado eléctrico. Finalmente, las pérdidas de energía eléctrica para el sistema de distribución no superan un 1 % para los periodos que se han analizado.

Ilustración 18. Distribución CU (\$/kWh) Nivel de tensión I



Fuente: elaboración propia a partir de información de (SOPESA, 2023)

Ilustración 19. Ilustración 22. Distribución CU (\$/kWh) Nivel de tensión II



Fuente: elaboración propia a partir de información de (SOPESA, 2023)

5.2.6. Escenario 1: Análisis costo – beneficio, generación de energía eléctrica con GLP.

Para realizar el análisis costo-beneficio en el contexto de generación de energía eléctrica con GLP, se definió un escenario de cambio de combustible en el que se utilizaron las tarifas que ha venido aplicando la empresa SOPESA S.A. E.S.P. para cada nivel de tensión I y II. Con base en lo anterior, inicialmente se determinó el peso porcentual que ha representado el componente de remuneración de los costos de los combustibles de origen fósil (G_{cm}) dentro del costo unitario de prestación del servicio de energía eléctrica (CU), desde enero de 2019 hasta mayo de 2023.

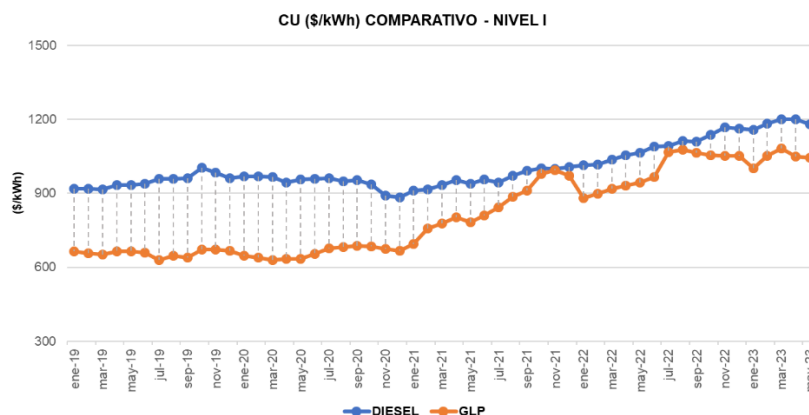
Una vez identificado el porcentaje que ha representado el costo del Diésel dentro de la tarifa, se adelantó un cálculo en donde se multiplicó el GLP (COP\$/gal) por el (G_{cm}) del Diésel, dividiendo este resultado con el precio del Diésel (COP\$/gal), para así, conocer el valor en pesos por kilovatio hora (\$/kWh) que tendría el GLP dentro del componente (G_{cm}).

Con los datos antes calculados, se determinó el (CU) en un escenario en el que la generación de energía eléctrica es realizada con GLP, para ello, se multiplicó el valor del (CU) del diésel por 1 – el porcentaje que representa el (G_{cm}), más la sumatoria del (G_{cm}) del GLP. Los resultados de este análisis se detallan en la siguiente tabla del Anexo 11 por cada nivel de tensión.

En la siguiente gráfica se muestra una comparación del (CU) del Diésel siendo este el escenario real, es decir, la tarifa que ha cobrado la empresa SOPESA S.A. E.S.P. a los usuarios residenciales del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y el

escenario que se está analizando, el (CU) si la generación de energía fuera con GLP en el escenario 1.

Ilustración 20. CU (\$/kWh) COMPARATIVO - NIVEL I

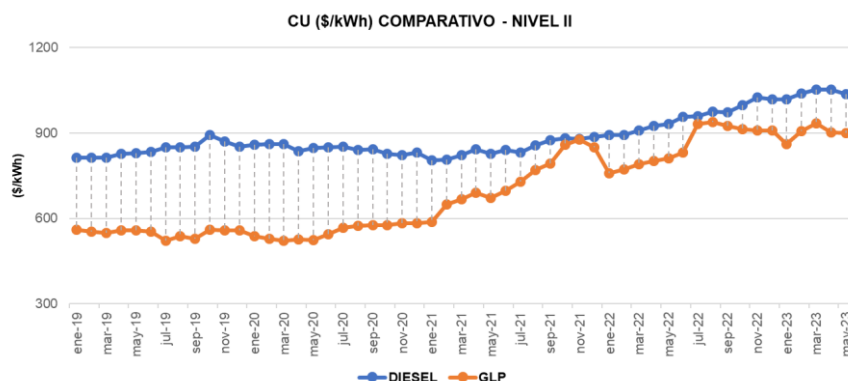


Fuente: Elaboración propia a partir de información de (SOPESA, 2023) y (ECOPETROL, 2023)

En ese sentido, vemos que para el periodo evaluado en el nivel de tensión 1 (baja tensión), en el cual se atienden a usuarios residenciales, el costo unitario de prestación del servicio de energía eléctrica (CU) para San Andrés Providencia y Santa Catalina sería en promedio 190 COP\$/kWh más económico, si se generara la energía con GLP, es decir, representaría una reducción del 19 % en la tarifa de los usuarios.

Ahora bien, para el nivel de tensión 2 (alta tensión), donde se atiende a hoteles, industrias y entre otros, en promedio el (CU) con GLP sería 191 COP\$/kWh más económico que el Diésel, lo que representaría una reducción del 20 % en la tarifa. Aunado a lo anterior, tanto para el nivel de tensión I y II, se identifica que el GLP resulta ser más económico para la generación de energía eléctrica, a pesar de que el precio del GLP por estar supeditado a indicadores internacionales, presente fluctuaciones que inciden directamente en el (CU).

Ilustración 21. CU (\$/kWh) COMPARATIVO - NIVEL II



Fuente: Elaboración propia a partir de información de (SOPESA, 2023) y (ECOPETROL, 2023)

Ahora bien, con base en lo definido en la resolución del Ministerio de Minas y Energía No. 40374 del 14 de abril de 2016, la cual define la fórmula general para la determinación de los subsidios de los usuarios, la empresa SOPESA S.A E.S.P. para el año 2022, determinó un valor de subsidios para San Andrés Providencia y Santa Catalina de COP 103.219.711.072, el cual en gran medida está distribuido para el sector comercial y residencial.

Tabla 10. Subsidios COP\$ San Andrés Providencia y Santa Catalina, generación con diésel 2022

Sector	Facturación por consumo COP\$	Subsidio COP\$	Estimación %Subsidio	Distribución %Subsidios
Estrato 1	12.009.183.181	7.972.571.306	66%	7,7%
Estrato 2	26.115.921.046	16.103.286.779	62%	15,6%
Estrato 3	25.233.795.468	13.314.695.638	53%	12,9%
Estrato 4	7.090.221.477	3.082.572.293	43%	3,0%
Estrato 5	5.478.589.108	1.860.846.255	34%	1,8%
Estrato 6	1.195.514.365	312.720.946	26%	0,3%
Comercial	113.063.794.893	49.753.654.038	44%	48,2%
Oficial	16.952.603.226	9.065.461.079	53%	8,8%
Especial	742.728.554	393.308.727	53%	0,4%
Provisional	2.589.836.260	1.360.594.011	53%	1,3%
Total	\$ 210.472.187.578	\$ 103.219.711.072		

Fuente: Elaboración propia a partir de reporte consolidado de información comercial ZNI (SUI, 2023)

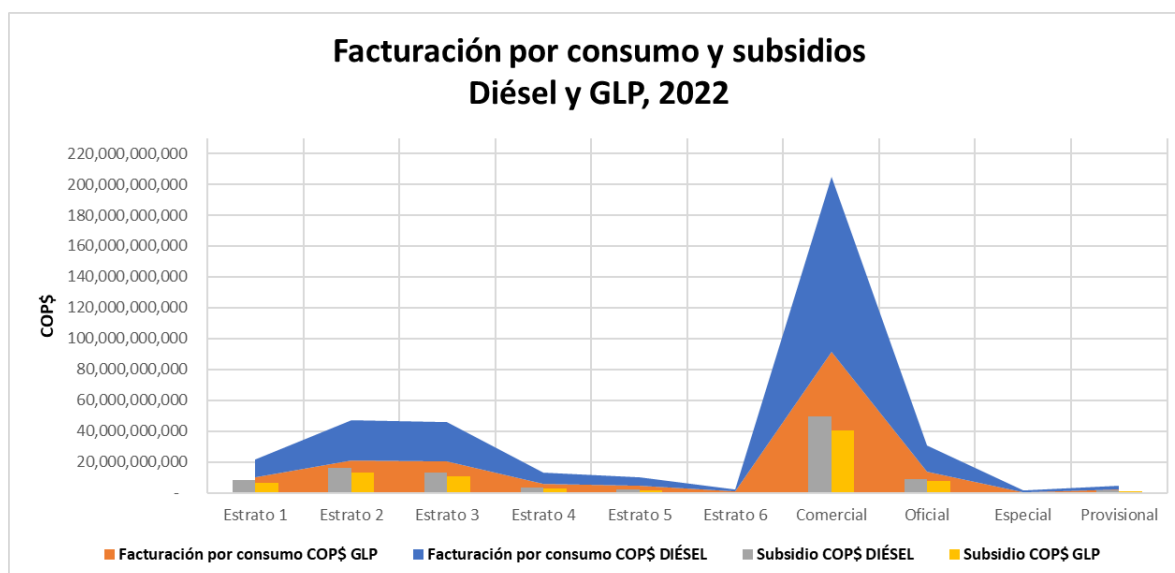
Con base en lo anterior y teniendo en cuenta que en promedio la reducción del costo unitario de prestación del servicio de energía eléctrica (CU) para San Andrés Providencia y Santa Catalina si se utilizaría GLP es del 19 %, se estimó esta reducción en la facturación por consumo y el valor de subsidios COP\$ que reportó la empresa SOPESA S.A. E.S.P. para el 2022, obteniendo que, con el GLP el ahorro en la facturación sería de alrededor de COP\$ 39.989.715.640 y de COP\$ 19.611.745.104 en subsidios como se muestra a continuación:

Tabla 11. Subsidios COP\$ San Andrés Providencia y Santa Catalina, generación con GLP 2022

Sector	Facturación por consumo COP	Subsidio COP	Estimación %Subsidio	Distribución %Subsidios
Estrato 1	9.727.438.377	6.457.782.758	66%	7,7%
Estrato 2	21.153.896.047	13.043.662.291	62%	15,6%
Estrato 3	20.439.374.329	10.784.903.467	53%	12,9%
Estrato 4	5.743.079.396	2.496.883.557	43%	3,0%
Estrato 5	4.437.657.177	1.507.285.467	34%	1,8%
Estrato 6	968.366.636	253.303.966	26%	0,3%
Comercial	91.581.673.863	40.300.459.771	44%	48,2%
Oficial	13.731.608.613	7.343.023.474	53%	8,8%
Especial	601.610.129	318.580.069	53%	0,4%
Provisional	2.097.767.371	1.102.081.149	53%	1,3%
Total	170.482.471.938	83.607.965.968		

Fuente: Elaboración propia a partir de reporte consolidado de información comercial ZNI (SUI, 2023)

Ilustración 22. Valor facturación por consumo y subsidios COP\$, por tipo de combustible Diésel y GLP, 2022



Fuente: Elaboración propia, reporte consolidado de información comercial ZNI (SUI, 2023)

Así las cosas, con base en los análisis realizados en este capítulo, sintetizamos algunos hechos relevantes así:

Tabla 12. Aspectos relevantes análisis costo – beneficio, generación de energía eléctrica con GLP

ASPECTO	GLP
Combustible	De acuerdo con el periodo analizado, entre 85 y 5.437 (COP\$/gal) ha sido más económico el GLP en comparación con Diésel.
	Si bien se requieren más galones de GLP para generar la energía eléctrica que demanda el Archipiélago, el ahorro mensual en la compra del combustible asciende en COP 2.607.987.629 para San Andrés y en COP 189.771.853 para Providencia.
Costos del flete	De acuerdo con el periodo analizado, el promedio mensual del flete de GLP es de 220 (COP\$/gal), esto es, en promedio 300 (COP\$/gal) menos que el Diésel.
Costo unitario de prestación del servicio de energía eléctrica (CU)	En promedio 190 (COP\$/kWh) sería más económico el (CU) para los usuarios del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, la generación eléctrica si se utilizara GLP.
Subsidios	De acuerdo con los cálculos realizados para el 2022, se estima que se reduce en aproximadamente COP\$ 19.611.745.104, el valor de los subsidios que viene destinando el Gobierno Nacional.

Fuente: Elaboración propia

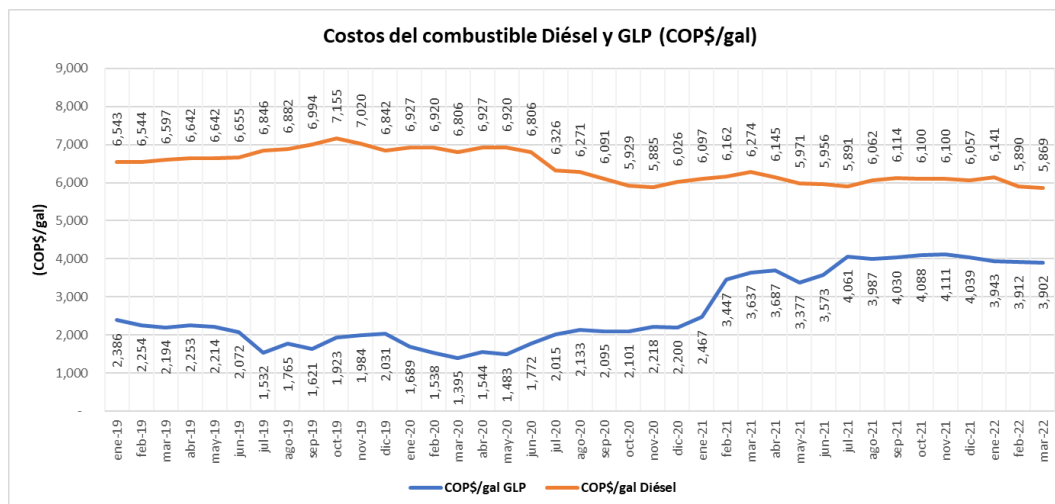
5.2.7. Escenario 2: Análisis costo – beneficio, generación de energía eléctrica con GLP y estabilización de precios.

Para el análisis costo beneficio en donde la generación de energía eléctrica sea realizada con GLP y este combustible tenga una estabilización de precios que minimice las fluctuaciones que pueda tener a lo largo del tiempo, se definió un escenario utilizando las tarifas que ha aplicado la empresa SOPESA S.A. E.S.P. para cada nivel de tensión I y II, pero a diferencia del escenario 1, se tuvo en cuenta la medida adoptada por ECOPETROL S.A. y el Gobierno Nacional en diciembre de 2021, donde establecieron un descuento para el GLP con precio regulado de la fuente de producción Cartagena manteniéndolo en 3.670 (COP\$/gal) , con el fin de minimizar el impacto que este estaba representando a los usuarios finales desde el segundo semestre del 2021. Si bien esta situación fue aplicada únicamente para el primer semestre de 2022, para efectos del presente análisis será replicada desde julio de 2021.

Con base en lo anterior, en este escenario se calculó el costo del combustible (COP\$/gal), el costo del flete (COP\$/gal), el costo unitario de prestación del servicio de energía eléctrica (CU) y el valor de los subsidios, en ese sentido, a continuación, se detallan los resultados:

En relación con el costo del combustible (COP\$/gal), el GLP para el periodo analizado es más económico que el Diésel, entre 1.830 y 5.437 (COP\$/gal), es decir, hasta un 79% menos como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 23. Escenario 2. costos del combustible Diésel y GLP (COP\$/gal)

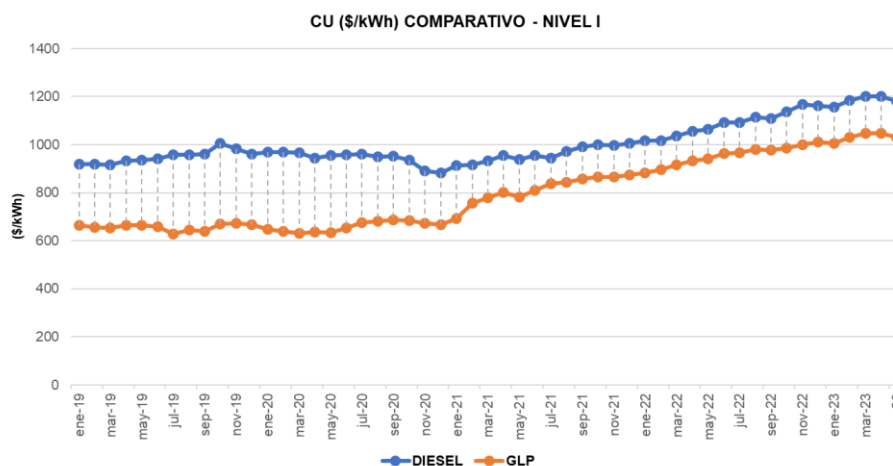


Fuente: Elaboración propia, a partir de información suministrada por la Superservicios, Radicado SSPD No. 20232031820831 del 19/05/2023

En cuanto al flete (COP\$/gal), el promedio del flete del Diésel fue de 576 (COP\$/gal) y el del GLP de 207 (COP\$/gal), esto es, en promedio 369 (COP\$/gal) menos que el Diésel.

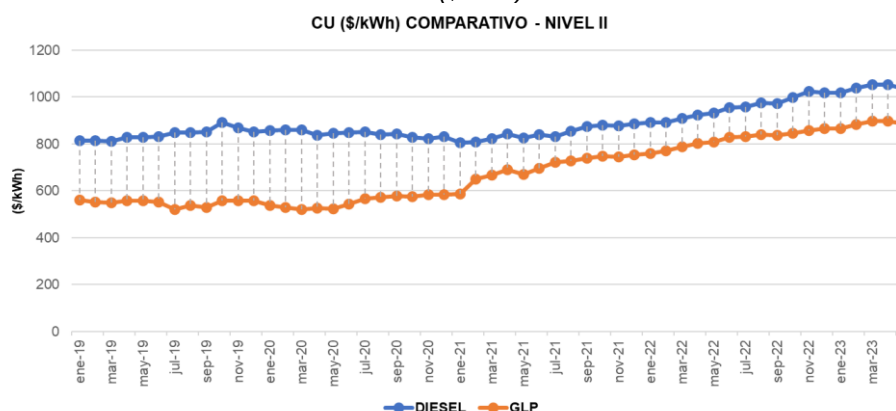
Por otra parte, en el nivel de tensión 1 y 2 el (CU) para San Andrés Providencia y Santa Catalina sería en promedio 208 COP\$/kWh más económico, si se generara la energía con GLP (precio estabilizado), es decir, representaría una reducción del 21 % en la tarifa de los usuarios.

Ilustración 24. Escenario 2. CU (\$/kWh) COMPARATIVO - NIVEL I



Fuente: Elaboración propia a partir de información de (SOPESA, 2023) y (ECOPETROL, 2023)

Ilustración 25. Escenario 2. CU (\$/kWh) COMPARATIVO - NIVEL II



Fuente: Elaboración propia a partir de información de (SOPESA, 2023) y (ECOPETROL, 2023)

Finalmente, teniendo en cuenta que en promedio la reducción del costo unitario de prestación del servicio de energía eléctrica (CU) para San Andrés Providencia y Santa Catalina en este escenario sería del 21 %, se estimó esta reducción en la facturación por consumo y el valor de subsidios COP\$ que reportó la empresa SOPESA S.A. E.S.P. para el 2022, obteniendo que, con el GLP el ahorro en la facturación sería de alrededor de COP\$ 44.199.159.391 y de COP\$ 21.676.139.325 en subsidios como se muestra a continuación:

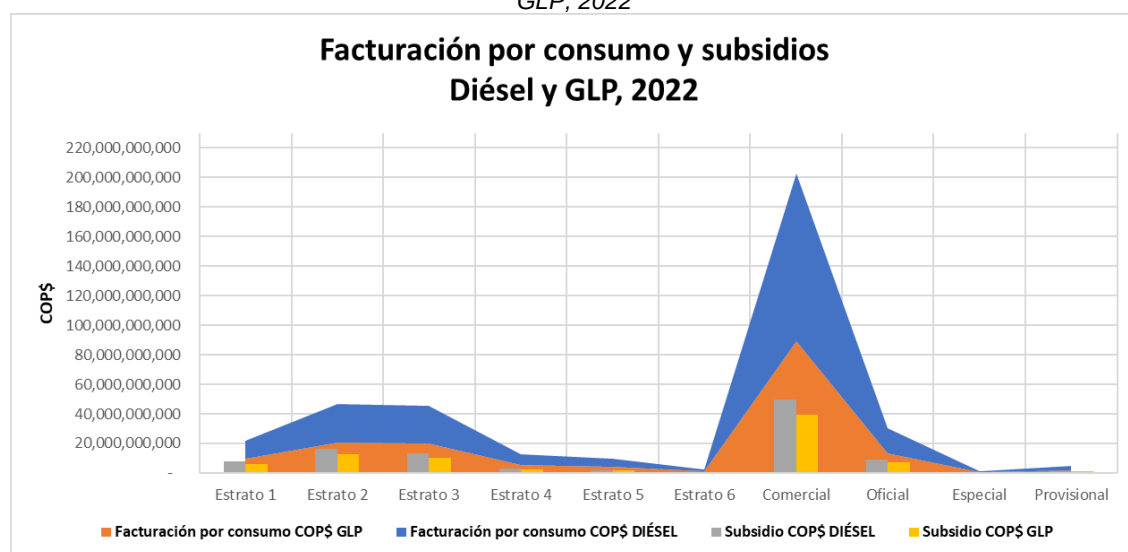
Tabla 13. Escenario 2. Subsidios COP\$ San Andrés Providencia y Santa Catalina, generación con GLP 2022

Sector	Facturación por consumo COP	Subsidio COP	Estimación %Subsidio	Distribución %Subsidios
Estrato 1	9,487,254,713	6,298,331,332	66%	7.7%
Estrato 2	20,631,577,626	12,721,596,555	62%	15.6%
Estrato 3	19,934,698,420	10,518,609,554	53%	12.9%
Estrato 4	5,601,274,967	2,435,232,111	43%	3.0%

Sector	Facturación por consumo COP	Subsidio COP	Estimación %Subsidio	Distribución %Subsidios
Estrato 5	4,328,085,395	1,470,068,541	34%	1.8%
Estrato 6	944,456,348	247,049,547	26%	0.3%
Comercial	89,320,397,965	39,305,386,690	44%	48.2%
Oficial	13,392,556,549	7,161,714,252	53%	8.8%
Especial	586,755,558	310,713,894	53%	0.4%
Provisional	2,045,970,645	1,074,869,269	53%	1.3%
Total	166.273.028.187	81.543.571.747		

Fuente: Elaboración propia a partir de reporte consolidado de información comercial ZNI (SUI, 2023)

Ilustración 26. Escenario 2. Valor facturación por consumo y subsidios COP\$, por tipo de combustible Diésel y GLP, 2022



Fuente: Elaboración propia a partir de información SUI, reporte Consolidado de información comercial ZNI (SUI, 2023)

Así las cosas, con base en los análisis realizados en este capítulo, sintetizamos lo siguiente así:

Tabla 14. Escenario 2. Aspectos relevantes análisis costo – beneficio, generación de energía eléctrica con GLP

ASPECTO	GLP
Combustible	De acuerdo con el periodo analizado, entre 1.830 y 5.437 (COP\$/gal) ha sido más económico el GLP.
	Si bien se requieren más galones de GLP para generar la energía eléctrica que demanda el Archipiélago, el ahorro en la compra del combustible asciende en COP 2.872.325.129 para San Andrés y en COP 208.271.336 para Providencia.
Costos del flete	De acuerdo con el periodo analizado, el promedio del flete de GLP es de 207 (COP\$/gal), esto es, en promedio 369 (COP\$/gal) menos que el Diésel.
Costo unitario de prestación del servicio de energía eléctrica (CU)	En promedio 208 (COP\$/kWh) sería más económico para los usuarios del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, la generación eléctrica si se utilizara GLP

ASPECTO	GLP
Subsidios	De acuerdo con los cálculos realizados para el 2022, se estima que se reduce en aproximadamente COP\$ 21.676.139.325, el valor de los subsidios que viene destinando el Gobierno Nacional.

Fuente: Elaboración propia

5.3. ANALIZAR LAS EMISIONES GENERADAS POR EL GLP Y EL DIÉSEL

Las emisiones de los combustibles en mención dependen de la composición molecular, a continuación, se muestran las composiciones del diésel y el GLP según la calculadora FECOC.

Tabla 15. Componentes GLP y diésel B2

Componentes del Diesel B2	Porcentaje	Componentes del GLP Cartagena	Porcentaje
C:	85.89%	C:	83.20575617%
H:	13.090%	H:	16.79424383%
N:	0.37%		
S:	0.0063%		
O:	0.64%		
H2O:	0%		
Cenizas:	0%		

Fuente: Calculadora FECOC

Se observa en los dos combustibles que la mayor parte de la composición se relaciona al carbono y en segundo lugar al hidrógeno, el resto de los componentes tienen un porcentaje de concentración bajo, por ejemplo, el GLP no contiene azufre, por esta razón la mayoría de los productos de combustión van a ser dióxido de carbono y vapor de agua. Para realizar el cálculo de las emisiones generadas en el archipiélago por la generación de energía eléctrica con diésel y comparar con la posible sustitución de combustible a GLP en los dos escenarios establecidos, se utilizaron los factores de emisión establecidos por la calculadora FECOC para los principales gases de efecto invernadero los cuales son CO₂, CH₄, SO₂ Y N₂O:

Factores de emisión para el diésel B2:

CO₂: 10,149 Kg/Gal de combustible
CH₄: 1 Kg/TJ
N₂O: 0,6 Kg/TJ
SO₂: 2,967 Kg/TJ

Factores de emisión para el GLP Cartagena:

CO₂: 3,0488 Kg/Kg de combustible
 CH₄: 1 Kg/TJ
 N₂O: 0,1 Kg/TJ

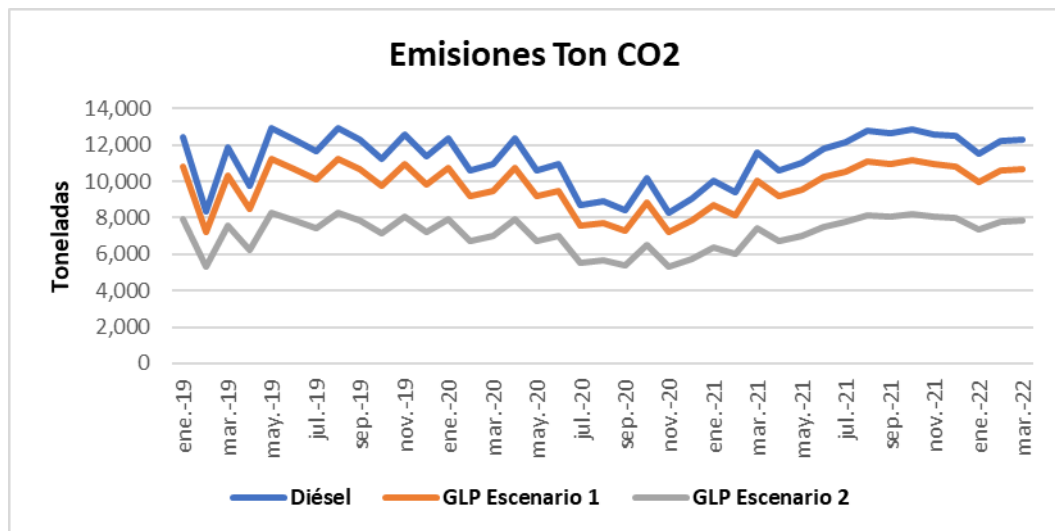
Se realiza la respectiva conversión de unidades del factor de emisión del GLP, ya que, la información que se ha construido está en galones de combustible y para esto se utiliza el valor de la densidad del GLP de Cartagena:

$$\text{Factor de emisión GLP} = 3,0488 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg GLP}} \left(0,562 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * \frac{3,78 \text{ L}}{1 \text{ Gal}} \right) = 6,47 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{Gal GLP}}$$

De la tabla del Anexo 4 se sumaron los valores de galones totales de diésel utilizados en San Andrés y Providencia además de la producción total de energía en MWh, de esta forma teniendo los factores de emisión se halla la cantidad de emisiones de CO₂ para el archipiélago y el indicador de TON CO₂/MWh, para calcular las emisiones del escenario 1, se realizó el cálculo mes a mes de los galones de GLP necesarios si se tuviera la misma eficiencia del sistema siguiendo el procedimiento descrito en el numeral 5.1.2 y para el escenario 2 se toma la misma cantidad de galones que se tomaron en el caso del diésel, de esta manera se construye una tabla que se puede observar en el Anexo 12.

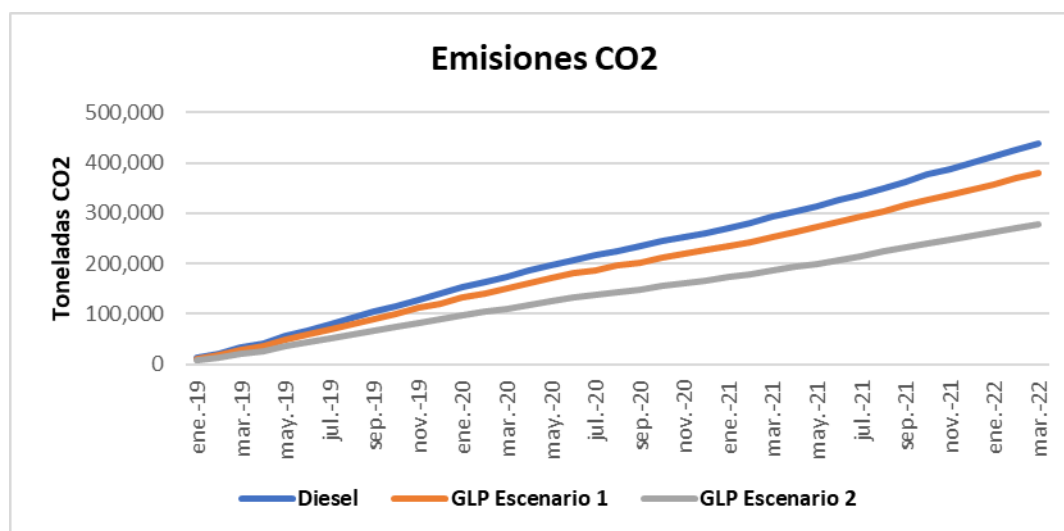
El promedio de toneladas mensuales de CO₂ emitidas por las plantas que generan energía eléctrica con diésel en el archipiélago es de 11.207 lo cual representa 134.484 toneladas anuales aproximadamente, mientras que con la posible la sustitución a GLP en el escenario 1 se emitirían en promedio 9.721 ton y 7.145 ton en el escenario 2, en los dos escenarios se muestra una disminución significativa, lo cual representaría una disminución anual de toneladas de CO₂ promedio de 17.832 y 48.744 respectivamente.

Ilustración 27. Toneladas CO₂ archipiélago San Andrés y Providencia



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 28. Emisiones acumuladas de CO2



Fuente: Elaboración Propia

Se procede a hacer el cálculo del porcentaje de diferencia de emisiones con los promedios de las toneladas de CO2 por MWh producido:

$$\% \text{ Entre diésel y GLP Escenario 1} = 100 - \left(\frac{0,65 * 100}{0,75} \right) = 13,3\%$$

$$\% \text{ Entre diésel y GLP Escenario 2} = 100 - \left(\frac{0,48 * 100}{0,75} \right) = 36\%$$

Aquí se puede observar cómo la sustitución de combustibles podría representar una disminución considerable de las toneladas de CO2 emitido y también la influencia de las mejoras en la eficiencia energética para lograr tal fin.

A continuación, se realiza una matriz comparativa entre el diésel y los dos escenarios de sustitución del GLP con la información que se ha venido relacionando, en cuanto al N2O, SO2 y CH4 los promedios mensuales de productos de combustión y de las Ton/MWh se hallaron de igual manera que se hizo con el CO2.

Tabla 16. Matriz comparativa con enfoque en GEI

ASPECTO	COMPONENTE	DIESEL	GLP Escenario 1	GLP Escenario 2
% COMPONENTES	C	85.89	83.21	
	H	13.09	16.79	
	N	0.37	0	
	S	0.0063	0	
	O	0.64	0	
FACTORES DE EMISIÓN	kg CO2/Gal	10.149	6.47	
	kg N2O/MWh	0.002159	0.000359	
	kg SO2/MWh	0.01068	0	

ASPECTO	COMPONENTE	DIESEL	GLP Escenario 1	GLP Escenario 2
	kg CH4/MWh	0.00359	0.00359	
PROMEDIO MENSUAL PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN	CO2 Ton	11207.42	9721	7145
	N2O kg	32.49	5.403	
	SO2 kg	160.72	0	
	CH4 kg	54.03		
PROMEDIO MENSUAL Ton/MWh	CO2	0.75	0.65	0.48
	N2O kg/MWh	0.0022	0.00036	
	SO2	0.0107	0	
	CH4	0.0036		

Fuente: Elaboración propia

6. IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO

La elección entre el diésel y el GLP para la generación de energía eléctrica en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina no solo tiene implicaciones técnicas y económicas, sino que también tiene un impacto significativo en el medio ambiente, la salud pública, la economía local y la calidad de vida de la población. Ahora bien, como lo hemos descrito en el presente documento, el diésel suele ser más contaminante que el GLP en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, es por esto por lo que, utilizar GLP podría contribuir a la reducción de la contaminación ambiental y a la preservación de los ecosistemas en el archipiélago.

Asimismo, la contaminación del aire derivada del uso de diésel puede tener efectos adversos en la salud de la población local. La elección del GLP podría mejorar la calidad del aire y la salud de los habitantes de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Por otra parte, el archipiélago es un lugar único en términos de riqueza natural y cultural, por ello, dependiendo de la elección del tipo de combustible para la generación de energía eléctrica puede contribuir o no, a la sostenibilidad del mediano y largo plazo de los recursos naturales, a reducir la significancia de los impactos sobre los ecosistemas y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles que suelen ser más contaminantes.

Frente al aspecto económico, los costos de compra del GLP con base en información de series históricas de datos suelen ser más económicos que los del Diésel, lo cual puede tener un impacto positivo en la calidad de vida de los habitantes, toda vez que, el componente de suministro (G) dentro de la tarifa del servicio público domiciliario de energía eléctrica puede ser más bajo. Finalmente, la evaluación de la eficiencia energética y la transición hacia fuentes de energía más limpias pueden ser oportunidades para el sector educativo, ya que, puede promover una mayor comprensión de los problemas ambientales y fomentar un compromiso encaminado a la sostenibilidad.

7. CONCLUSIONES

El diésel tiene un 36 % más de potencial de generación de energía eléctrica por galón de combustible en comparación al GLP de la refinería de Cartagena.

En los dos posibles escenarios de sustitución de combustible se puede observar cómo la eficiencia energética de las plantas termoeléctricas juega un papel fundamental en cuanto a la cantidad de combustible a utilizar, ya que, un aumento de 10,28% en la eficiencia media de las dos plantas con una tecnología más actualizada, disminuye un promedio entre las dos plantas de un 26,5% en la cantidad de combustible a utilizar.

Teniendo en cuenta que se necesita 1,36 galones adicionales de GLP en comparación al diésel para producir la misma cantidad de energía, si la eficiencia se mantuviera igual en una sustitución de combustibles se disminuiría 13,3% y en el escenario 2 un 36% lo cual demuestra que el GLP es un combustible que puede jugar un papel determinante en la transición energética.

A partir de la información disponible en el sistema oficial del sector de los servicios públicos domiciliarios del país, se realizó la caracterización de la demanda energética de San Andrés y Providencia. El consumo de energía eléctrica para San Andrés en promedio para el año 2022, fue de un poco más de 15.000 MWh/Mes y este consumo se concentra en un 90 % entre el sector comercial y residencial; para Providencia, el consumo fue de 1.000 MWh/Mes y está concentrado en un 82 % en el sector residencial y comercial.

Los precios del GLP que se producen en el país pueden presentar volatilidad a causa de la estructura de conformación del precio, ya que toman de referencia indicadores internacionales de propanos y butanos, además de la tasa representativa del mercado. A pesar de esto, para el análisis realizado el precio del GLP es más económico que el diésel, entre 85 y 5.437 (COP\$/gal), es decir, hasta un 79 %.

En los escenarios 1 y 2, en donde se plantea generar la energía eléctrica con GLP para San Andrés y Providencia, además de proponer una estabilización en el precio del GLP; los costos del combustible, los costos del flete y el costo unitario de prestación del servicio de energía eléctrica se reducen. De igual manera, se estima un ahorro en los subsidios otorgados por el Gobierno Nacional en los sectores de consumo del servicio de energía eléctrica, a partir de los análisis realizados tomando de base los precios del diésel y el GLP, el consumo de combustible y la eficiencia de las plantas generadoras.

8. RECOMENDACIONES

Para darle continuidad a los resultados del presente trabajo, se recomienda realizar un estudio detallado en cuanto a diseño de la planta termoeléctrica para San Andrés y Providencia, donde se determine el sistema más adecuado el cual puede ser adaptado bi-fuel para los motores existentes o la instalación de un nuevo sistema que funcione con GLP y así determinar costos, retorno de inversión y demás indicadores financieros donde se pueda profundizar en la factibilidad del proyecto.

De acuerdo con el análisis realizado, la generación de energía eléctrica en San Andrés, Providencia y Santa Catalina con GLP es una alternativa que permite reducir los costos de la prestación del servicio que pagan los usuarios, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y minimiza la dependencia de un solo combustible para la generación, lo cual contribuiría a la resiliencia del suministro eléctrico. Sin embargo, aun cuando se aportan elementos para la toma de decisiones con la presente investigación, se recomienda continuar con los estudios y se tengan en cuenta algunas consideraciones importantes como la infraestructura existente en el territorio y las posibles adaptaciones que podrían requerirse en las plantas de generación, la disponibilidad de almacenamiento del combustible conforme a las reglamentaciones técnicas existentes, la confiabilidad en el suministro del combustible y el respectivo cumplimiento de la regulación vigente.

Por otra parte, replicar los análisis y lecciones aprendidas descritos en el presente documento en proyectos de generación de energía eléctrica que sustituyen el diésel por GLP u otros combustibles menos contaminantes en las Zonas No Interconectadas del país, podrían tener un gran impacto positivo en términos de sostenibilidad, medio ambiente, salud pública y desarrollo económico de los territorios.

Otro aspecto a tener en cuenta es que la dinámica de precios de los dos combustibles no es la misma, ya que, el diésel cuenta con una estabilización de precios mientras que el GLP no maneja la misma estructura, por lo que en un mercado más liberalizado el GLP podría ser más competitivo al tener precios mucho más bajos que los del diésel.

REFERENCIAS

- Aguilar Caro, W. T. (2019). EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y DE EMISIONES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN ALIMENTADO CON MEZCLAS DE DIESEL Y PROPANO SIN PRECALENTAR. FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES, Bogotá.
- AIGLP (2019). Crece la generación de electricidad con GLP. AIGLP. <https://aiglp.org/es/crece-la-generacion-de-electricidad-con-glp/>
- Gómez Galán, G. A. (2018). Determinación del perfil lipídico de chips, bastones y patacones fritos de plátano verde mediante el empleo de cromatografía de gases y espectrofotometría infrarrojo FTIR (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Alcaldía Municipal de Santa Rosa - Bolívar. (2021). Así avanza el proyecto Termo Caribe. <http://www.santarosadelnorte-bolivar.gov.co/noticias/asi-avanza-el-proyecto-termo-caribe>
- Arango Gómez, J., Sierra Vargas, F., & Silva Leal, V. (2013). Análisis exploratorio de investigaciones sobre los motores de combustión interna que trabajan con biogás. *Tecnura*, 152-164. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6964/8630>
- Aguilera-Díaz, M. M. (2016). Geografía económica del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Capítulo 3. Geografía económica del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Pág.: 49-116.
- Benavides Reyes, J. E. (2019). Comportamiento Estándar de un Motor de Combustión Interna de Encendido por Compresión Operado con Sustitución de GLP y Combustible Piloto Diésel a condiciones de Bogotá. Universidad Libre de Colombia, Bogotá.
- Cabello Gavira, I. (2023). Modelado y simulación de un sistema de almacenamiento disruptivo basado en ciclos Orgánicos Rankine combinados con almacenamiento termoquímico.
- Calderon Sierra, M., & Calderon Calderon, E. Y. (2018). Análisis Ambiental Comparativo del uso del Gas Licuado de Petróleo (GLP) Como Combustible Sustituto del Gas Natural Vehicular (GNV) En Colombia. Universidad Industrial de Santander.
- Campos Guevara, A. A., & Ocupa Gonzales, A. S. (2023). Auditoria Energética En la Planta Industrial CENFROCAFE en el distrito Jaen-Cajamarca.
- Cisneros, J. E. (2014). Guía para la aplicación de sistemas de gestión energética orientado a la energía eléctrica, basado en la norma 50001. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- COLGAS. (2023). GLP EN FASE INDUSTRIAL (GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA). COLGAS. <https://colgas.com/blog/glp-en-fase-industrial-generacion-energia-electrica/>

- COPEC. (2013). Hoja de datos de seguridad petróleo diésel ultra A1 y B. https://www.sec.cl/sitio-web/wp-content/uploads/2019/06/HDS_COPEC_PETROLEO_DIESEL_ULTRA.pdf
- CREG. (19 de julio de 2007). CREG. Recuperado el 10 de octubre de 2023, de <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resolucion-2007-Creg066-2007>
- CREG. (20 de junio de 2009). CREG. Obtenido de Gestor Normativo Alejandría: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0073_2009.htm
- CREG. (26 de agosto de 2021). CREG. Recuperado el 10 de octubre de 2023, de https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0108_2021.htm
- DANE. (2023). Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Recuperado el 13 de octubre de 2023, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- De Lima Nunez, F., & André Trein, F. (2006). Vantagens do uso do GLP como combustivel em fornos de aquecimento para a conformacao a quente de metais: uma contribucao ao desenvolvimento regional. *Gestao e desenvolvimento*, 111-118.
- Dwyer, B. (2017). Eficiencia energética en la supply chain: economia circular en la practica. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- ECOPETROL. (2023). ECOPETROL. Recuperado el 30 de mayo de 2023, de <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/multisitios/comercial/es/precios/precios-vigentes/precios-vigentes!/ut/p/z1/pZLLUoMwFlafxQVLyUmCNXWXIFDqhcv0gtk44GDKDCUdijK-vTi6EMvQqmeXzPedzH9OkEQJkIX6Wqi0KXSVlt35QU4eAz5jmFkQMMIYRNPQvqSOL9wQo3Uf8OwbF6IZdZeLFf>
- El Tiempo. (2014). Nueva planta de Ecopetrol de generación eléctrica de GLP. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/DR-901226>
- Energy Transitions Commission. (26 de 04 de 2016). Shaping energy transitions. [energy-transitions.org. https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2020/05/20160426-ETC-Position-Paper-vF-low-res.pdf](https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2020/05/20160426-ETC-Position-Paper-vF-low-res.pdf)
- Escobar-Sandoval, J. E., Chere-Quiñónez, B. F., & Joel, R. (2020). Uso del programa MATLAB/SIMULINK en la descripción de motores eléctricos de corriente alterna. *Análisis documental. Domino de las Ciencias*, (5), 348-360.
- ESMAX. (2017). Hoja de datos de seguridad petróleo Diesel. <https://www.esmax.cl/wp-content/uploads/HDS-Esmax-Diesel.pdf>
- FENOGE. (9 de diciembre de 2022). San Andrés, Providencia y Santa Catalina: islas referentes en el uso eficiente de la energía. <https://fenoge.gov.co/san-andres-providencia-y-santa-catalina-islas-referentes-en-el-uso-eficiente-de-la-energia/>

Forero Nuñez, C. A., Arango, J. E., & Sierra Vargas, F. E. (2014). Evaluación energética de un sistema de generación de 400 kWe en modo diesel-gas licuado de petróleo. *Ingeniería Mecánica*, 17(3), 205-2015.

Foster, S., & Elzinga, D. (s.f.). El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. ONU. <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>

García Oropesa, A., Fernandez, P., & Orquídea, C. (2009). Parámetros para determinar las normas de almacenamiento y consumo del combustible diesel. *Avanzada Científica*.

GASNOVA. (2021). Informe Anual de GLP.

Gasnova. (s.f.). ¿Qué es el GLP?. www.gasnova.co. <https://www.gasnova.co/wp-content/uploads/2017/07/WLPGA-EE-PDF-ES.V1.pdf>

Huamancayo Inga, C. N. (2017). ANALISIS DE UN CALDERO PIROTUBULAR DE 300 BHP, USANDO COMBUSTIBLES DIESEL Y GLP, PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN LA EMPRESA AGROMANTARO S.A.C. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, Huancayo.

IPSE. (julio de 2023). Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas. Recuperado el 15 de agosto de 2023, de <https://ipse.gov.co/cnm/informe-mensuales-telemetry/>

Lora, R., Percy, A., & Aguilar, J. (2019). DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE 42 MW, ALIMENTADO CON GAS NATURAL Y GAS LICUADO DE PETRÓLEO. Universidad del Norte, Barranquilla.

Lora, R., Percy, A., & Aguilar, J. (2019). DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE 42 MW, ALIMENTADO CON GAS NATURAL Y GAS LICUADO DE PETRÓLEO. Universidad del Norte.

LPG Exceptional Energy. (s.f.). Origen del GLP. Obtenido de <https://www.gasnova.co/wp-content/uploads/2017/07/WLPGA-EE-PDF-ES.V1.pdf>

Martínez Sanabria, S. (2023). Análisis y optimización de la eficiencia energética de una central de ciclo combinado (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

MinEnergía. (s.f.). Funcionamiento del Sector. Ministerio de Minas y Energía. <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/funcionamiento-del-sector/>

Mirica. (2016). Dual fuel diesel engine operation using LPG. 7th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering, 10.

Mondragón-Zarza, E., Mañón-Salas, M. D. C., Rosa Domínguez, E. R., Turpin-Marion, S., Carreño-de León, M. D. C., & Hernández-Berriel, M. D. C. (2023). FORTALECIMIENTO MUTUO ENTRE LA ECONOMÍA CIRCULAR Y HERRAMIENTAS DE CICLO DE VIDA. *Centro Azúcar*, 50(1).

Moncayo Martinez, M. F., Nuñez Naranjo, L. P., & Cobos Recalde, P. A. (2023). Comparación del gasto energético entre un quemador aDiesely uno de GLP. Revista Social Fronteriza, 142-152.

Moncayo Martinez, M. F., Nuñez Naranjo, L. P., & Cobos Recalde, P. A. (2023). Comparación del gasto energético entre un quemador aDiesely uno de GLP. Revista Social Fronteriza, 7.

MYLPG.EU. (s.f.). Why convert to LPG?. mylpg. <https://www.mylpg.eu/useful/why-lpg/#performance>

Nguyen, J., Valadkhani, A., & Hajargasht, G. (2021). The Choice between Renewables and Non-renewables: Evidence from Electricity Generation in 29 Countries. The Energy Journal, 0(6).

Nutu. (2017). Experimental investigations of LPG use at the. MATEC Web of Conferences, 6.

OPS. (2014). OMS estima que 7 millones de muertes ocurren cada año debido a la contaminación atmosférica. <https://www.paho.org/es/noticias/25-3-2014-oms-estima-que-7-millones-muertes-ocurren-cada-ano-debido-contaminacion>

Planas, M. A. (26 de Marzo de 2019). La matriz energética de Colombia se renueva. IADB. <https://www.iadb.org/es/historia/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva>

Portafolio. (26 de Mayo de 2019). Cuatro térmicas usarían GLP para generar energía eléctrica. <https://www.portafolio.co/economia/cuatro-termicas-usarian-glp-para-generar-energia-electrica-529964>

PORTAFOLIO. (22 de diciembre de 2022). Ecopetrol reducirá precio del propano a partir del 1 de enero de 2022. PORTAFOLIO. <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/ecopetrol-reducira-precio-del-glp-a-partir-del-1-de-enero-de-2022-559888>

Presidencia de Colombia. (Agosto de 2005). EN TIMBIQUÍ, PROGRAMA PILOTO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON GAS. http://historico.presidencia.gov.co/prensa_new/sne/2005/agosto/10/01102005.htm

Revista SEMANA. (19 de noviembre de 2020). Habitantes en San Andrés arman bloqueos por falta de energía eléctrica. SEMANA. <https://www.semana.com/nacion/articulo/habitantes-en-san-andres-arman-bloqueos-por-falta-de-energia-electrica/202022/>

Saenz Ojeda, G. (2017). Estudio teórico de la aplicación de Gases Licuados de Petróleo (GLP) en unidades de potencia de vehículos híbridos para transporte público. Universidad Politécnica de Valencia.

Silva Leal, V. (2014). Estudio y evaluación del comportamiento energético del motor de un conjunto motogenerador operando con Gas Licuado de Petróleo (GLP) de alto butano. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

SOPESA. (2023). SOPESA S.A E.S.P. Recuperado el 12 de octubre de 2023, de <https://sopesa.com/servicios/>

SSPD. (s.f.). Sistema Único de Información (SUI). Recuperado el 27 de septiembre de 2023, de <https://sui.superservicios.gov.co/Que-es-el-SUI>

SUI. (22 de octubre de 2023). SUI. Obtenido de <https://sui.superservicios.gov.co/Reportes-del-sector/Energia/Reportes-comerciales/Consolidado-de-informacion-comercial-ZNI>

Superservicios (Ed.). (2018). Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Recuperado el 5 de junio de 2023, de https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/evaluacion_integral_de_prestadores_sopesa_2017.pdf

Superservicios. (21 de junio de 2022). Recuperado el 3 de junio de 2023, de <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Evaluaci%C3%B3n%20Integral%20PROVIGAS%20SA%20ESP%202021.pdf>

Superservicios. (2022). Informe de inspección concreta Sociedad Productora de San Andrés y Providencia S.A. E.S.P.

Superservicios. (21 de junio de 2022). Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Recuperado el 2 de julio de 2023, de <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Evaluaci%C3%B3n%20Integral%20PROVIGAS%20SA%20ESP%202021.pdf>

Tygas. (2012). Hoja de seguridad Gas Licuado del Petróleo. TERMOYOPAL. <https://www.termoyopal.com.co/wp-content/uploads/2017/07/002-MSDS-GLP.pdf>

UPME. (2017). Cadena del gas licuado del petroleo (GLP). Bogotá.

UPME. (s.f.). UPME. Obtenido de http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html

Urrego, A. (16 de Septiembre de 2021). Colombia será líder en el uso de GLP en la región, según la Asociación Mundial del GLP. La República.

USAene. (01 de febrero de 2013). Comisión de Regulación de Energía y Gas. Recuperado el 20 de junio de 2023, de https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/circular_creg_0005_2013.htm

WARTSILA. (2022). WÄRTSILÄ 34SG-LPG MOTOR GRUPO ELECTROGENO. <https://www.wartsila.com/energy/solutions/engine-power-plants/wartsila-34sg-lpg-gas-engine>

WLPGA. (2013). World LP Gas Association Annual Report 2013. Francia.

Z Ning, T. C. (2007). On-road remote sensing of liquefied petroleum gas (LPG) vehicle emissions measurement and emission factors estimation. Atmospheric Environment.

ANEXOS

Anexo 1. Respuesta Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, información calidad del GLP



20232301682631
Al contestar por favor cite estos datos:
Radicado No.: 20232301682631
Fecha: 10/05/2023

GD-F-007 V.21

Página 1 de 2

Bogotá, D.C.

Señor
NIXON ANDRÉS MILLÁN GARCÍA
Estudiante Maestría en Tecnologías Limpias
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL, UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
jorge.rendon@usantotomas.edu.co
nixonmillan@usantotomas.edu.co
Bogotá D.C.

Asunto: Respuesta a Radicado SSPD No. 20235291602642 del 3 de mayo de 2023.

Respetado señor Millán:

La Dirección Técnica de Gestión de Gas Combustible – DTGGC de esta Superintendencia, recibió el radicado de la referencia por medio de la cual usted solicita lo siguiente:

"...Calidad del producto entregado – GLP, para la fuente de producción "CARTAGENA"

1. Cantidad (kg)
2. Nitrógeno (%)
3. Metano (%)
4. Etano (%)
5. Etileno (%)
6. Propano (%)
7. Propileno (%)
8. Iso-butano (%)
9. N-butano (%)
10. 1-buteno (%)
11. Iso-butileno (%)
12. Trans-2-buteno (%)
13. Cis-2-buteno (%)
14. 1,3-butadieno (%)
15. C5 y más pesados (%)

La Superintendencia comprometida con el Sistema de Gestión Antisoborno los invita a conocer los lineamientos, directrices y el canal de denuncias en el siguiente link: <https://www.superservicios.gov.co/Atencion-y-servicios-a-la-ciudadania/peticiones-quejas-reclamos-sugerencias-denuncias-y-felicitaciones>

Este documento está suscrito con firma mecánica autorizada mediante Resolución No. 20201000057315 de 09 de diciembre del 2020

Sede principal.
Bogotá D.C. Carrera 18 nro. 84-35
Código postal: 110221
PBX 60 (1) 691 3005. Fax 60 (1) 691 3059
sspd@superservicios.gov.co
Línea de atención 60 (1) 691 3006 Bogotá.
Línea gratuita nacional 01 8000 91 03 05
NIT: 800.250.984.6
www.superservicios.gov.co

Dirección Territoriales
Diagonal 92 # 17A – 42, Edificio Brickell Center, piso 3.
Código postal: 110221
Barranquilla. Carrera 59 nro. 75 -134. Código postal: 080001
Bucaramanga. Carrera 34 No. 54 – 62. Código postal: 680003
Cali. Calle 26 Norte nro. 6 Bis – 19. Código postal: 760046
Medellín. Avenida calle 33 nro. 74 B – 253. Código postal: 050031
Montería. Carrera 7 nro. 43-25. Código postal: 050031
Neiva. Calle 11 nro. 5 – 62. Código postal: 230001

- 16. Residuo (ml)
 - 17. Densidad relativa
 - 18. Poder calorífico (BTU/lb)
 - 19. Presión de vapor (psi)
 - 20. Corrosión lamina de cobre
 - 21. Azufre (ppm)
- Periodos: Mensual desde enero de 2021 y hasta marzo de 2023. ..."

Al respecto me permito remitir archivo Excel denominado "Calidad del Producto" con la información que reposa en el Sistema Único de Información – SUI, que han reportado los comercializadores mayoristas a través del formato B.7. Calidad del producto entregado, conforme a la Circular Conjunta SSPD-CREG 002 de 2016 SSPD, desde enero de 2021 hasta marzo de 2023.

Cordialmente,



LUZ MERY TRIANA ROCHA
Directora Técnica de Gestión de Gas Combustible

Anexo: Calidad del Producto.xlsx

Proyectó: Alida Yamile Acevedo Garavito - Profesional DTGGC
Revisó y Aprobó: Luz Mery Triana Rocha – Directora Técnica de Gestión de Gas Combustible

Anexo 2. Respuesta ECOPETROL S.A. información calidad del producto GLP y Diésel

Respuesta a su solicitud OPC-2023-030810 [ref:_00D301IC07_5004V1O2kTY:ref]

noreply@salesforce.com <noreply@salesforce.com>

en nombre de

Participación ciudadana <participacion.ciudadana@ecopetrol.com.co>

Jue 15/06/2023 18:43

Para: Jorge Leonardo Rendon Tolentino <jorgerendon@usantotomas.edu.co>

CC: Nixon Andres Millan Garcia <nixonmillan@usantotomas.edu.co>

 1 archivos adjuntos (164 KB)

diesel-extra-b2-b0.pdf;

Señor

Jorge Leonardo Rendon Tolentino

jorgerendon@usantotomas.edu.co

Estudiante

MAESTRIA EN GESTION DE CUENCAS HIDROGRAFICAS Sede POSGRADOS CIENCIAS Y
TECNOLOGIAS Bogota D.C.

Asunto: Fwd: Derecho de petición de información

Estimado señor Rendón en atención a su solicitud radicada con la OPC-2023-030810 nos permitimos dar respuesta a continuación :

1. En atención al requerimiento relacionado con especificaciones del diesel consideramos pertinente mencionar que el diésel que se produce y distribuye en Colombia cumple con la Resolución 90963 del 10 de septiembre de 2014 y en nuestro catálogo de productos se encuentran publicadas las especificaciones que se remiten en el archivo adjunto.

Por favor para consultar nuestro catálogo de productos ingresar al siguiente link:

https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/multisitios/comercial/es/portafolio/productos-y-servicios/combustibles!/ut/p/z1/pZHLDoIwEEW_xS_o9JFalhR5FEUeimA3hhUhUXRh_H4NuhBjCuLsjInJjMXaVQi3Va3pq6uzbmtjo9-r_khtgOBbYNYECegtRjNtI2VScZRYQLCDUF6uk8jDj_6vrP0IA2ol2931JcZG-evCXewYjgRWIC6oYWXUULsCue50OvbJAZkRTAj8kU_33SP__rAG0eXyBtWtElaACeEfWBzwzIEMBegCmFL3f03zx06OWUd1VCoxpVz-4XzYOp/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/

2. De acuerdo con la información solicitada sobre la calidad del producto entregado GLP para la fuente de producción Cartagena, en un periodo comprendido entre el mes de enero del 2021 hasta marzo del 2023, informamos lo siguiente:

La información solicitada, hace parte de la entregada por parte de Ecopetrol S.A. en calidad de comercializador mayorista, en el marco de los contratos suscritos como resultado de la Oferta Pública de Cantidades, atendiendo lo regulado en el artículo 7 de la Resolución CREG 053 de 2011.

En ese orden de ideas, dicha información hace parte del contenido de los mencionados contratos y su divulgación se realiza a través de los canales establecidos en la regulación vigente. Para tal fin, señala el artículo 9 de la Resolución CREG 053 de 2011 que:

“ARTÍCULO 9. OBLIGACIONES DEL COMERCIALIZADOR MAYORISTA EN EL SUMINISTRO DE INFORMACIÓN. Respecto del suministro de información oportuna y confiable, tanto para el mercado

como para las entidades de regulación, control y vigilancia, los Comercializadores Mayoristas tienen las siguientes obligaciones: (...) a. Reportar al SUI las cantidades de GLP contratadas y disponibles para contratar en cada Punto de Importación o de producción o donde las tenga disponibles, así como de los resultados de la OPC, cuando aplique, en los formatos y condiciones que para el efecto allí se establezcan. (...) b. Reportar al SUI la información solicitada respecto de los reportes comerciales, de calidad del producto y de activos disponibles para la entrega y suministro de GLP a sus compradores, a través de los formatos y aplicaciones desarrolladas para el efecto. (...) c. Reportar al SUI la información correspondiente a los Usuarios No Regulados a los cuales les suministra producto. (...) d. Cuando se trate de GLP con Precio Regulado, diseñar, implementar y mantener una herramienta para realizar la OPC, de la cual trata el capítulo 3 esta resolución, de manera que se garantice que los Distribuidores, Usuarios No Regulados y otros Comercializadores Mayoristas interesados en adquirir producto regulado puedan presentar sus ofertas de compra en igualdad de condiciones y oportunidades. Este sistema debe permitir que, al cierre del recibo de ofertas de compra y de la realización de los cálculos de asignación, las autoridades de regulación, control y vigilancia conozcan la asignación resultante de producto de acuerdo con las reglas establecidas en esta resolución y la información que soporta dicha asignación, y que los participantes en la OPC conozcan como mínimo los resultados de su propia asignación. Los procedimientos a aplicar por parte de los ofertantes de compra deben ser informados de manera anticipada para garantizar la participación de todos los interesados. (...)” (Subraya fuera de texto)

De acuerdo con lo anterior, los datos que usted está solicitando se encuentra para consulta ciudadana actualizada hasta el mes de septiembre del 2022 en la página de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, en el siguiente link:

https://www.datos.gov.co/Minas-y-Energ-a/Superservicios-B7_Calidad_del_producto_entregado/ge4e-59i5

Los meses faltantes podrán ser consultados, una vez sean publicados en la herramienta dispuesta para tal fin por parte de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, conforme los reportes ya realizados por Ecopetrol S.A. en su condición de comercializador mayorista.

Esperamos con esta información haber atendido de fondo su solicitud.

Cordial saludo,

GERENCIA DE OPERACIONES COMERCIALES

En cumplimiento de la Ley 1581 de 2012, sobre protección de datos personales, se le informa que los datos suministrados serán incorporados a la base de datos para la gestión de peticiones con el fin de atender su caso, cuyo responsable del tratamiento es ECOPETROL y la vigencia será igual al periodo en que se mantenga la finalidad o el periodo de vigencia que señale una causa legal, contractual o jurisprudencial de manera específica. Mediante el registro de sus datos personales, en su calidad de peticionario, a través de este formulario usted autoriza a ECOPETROL S.A., como Responsable del Tratamiento, a realizar los siguientes tratamientos: recolección, almacenamiento, uso, circulación o supresión y transferencia internacional. Como Titular se le informa que podrá ejercer sus derechos de acceso y reclamos a través de los siguientes canales: a habeasdata@ecopetrol.com.co y participacion.ciudadana@ecopetrol.com.co, por correo físico o presencialmente ante la Oficina de Participación Ciudadana de ECOPETROL S.A. más cercana a usted (en la página www.ecopetrol.com.co en la ruta Responsabilidad Corporativa -> Oficina de Participación Ciudadana -> Oficinas, se encuentran las direcciones de nuestras Oficinas de Participación

Anexo 3. Respuesta Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, información empresa SOPESA S.A. E.S.P.



20232031820831
Al contestar por favor cite estos datos:
Radicado No.: 20232031820831
Fecha: 19/05/2023

GD-F-007 V.21

Página 1 de 2

Bogotá D.C.

Señor
JORGE LEONARDO RENDÓN TOLENTINO
Estudiante Maestría en Tecnologías Limpias
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
jorgerendon@usantotomas.edu.co
Bogotá, D.C.

Asunto: Radicado SSPD No. 20235291680992 del 09 de mayo de 2023.

Respetado Señor Rendón,

Hemos recibido la comunicación del asunto, por medio de la cual solicitó:

"copia de la siguiente información certificada por la empresa SOCIEDAD PRODUCTORA DE ENERGIA DE SAN ANDRES Y PROVIDENCIA S.A. E.S.P. (ID 1720), a través del Sistema Único de Información (SUI).

Reportes:

- ENE-C-1025 IC3. Costo Unitario Área Servicio Exclusivo
- ENE-C-1023 IC4. Tarifas Aplicadas
- 1910 IT3. Registro Generación Diaria - ZNI
- 1908 IT4. Interrupciones del servicio
- 1900 IT1. Inventario de Equipos - ZNI
- 1907 IC5. Subsidios
- 1903 IC1. Información Comercial Residencial y No Residencial – ZNI

Periodos: Mensual desde 2022 y hasta la fecha.

Este documento está suscrito con firma mecánica autorizada mediante Resolución No.20201000057315 de 09 de diciembre del 2020.

La Superservicios comprometida con el Sistema de Gestión Antisoborno los invita a conocer los lineamientos, directrices y el canal de denuncias en el siguiente link: <https://www.superservicios.gov.co/Atencion-y-servicios-a-la-ciudadania/peticiones-quejas-reclamos-sugerencias-denuncias-y-felicitaciones>

Sede principal.
Bogotá D.C. Carrera 18 No. 84-35
Código postal: 110221
PBX 60 (1) 691 3005. Fax 60 (1) 691 3059
sspd@superservicios.gov.co
Línea de atención 60 (1) 691 3006 Bogotá.
Línea gratuita nacional 01 8000 91 03 05
NIT: 800.250.984.6
www.superservicios.gov.co

Dirección Territoriales
Diagonal 82 No. 17A – 42, Edificio Brickell Center, piso 3.
Código postal: 110221
Barranquilla. Carrera 59 No. 75 -134. Código postal: 080001
Bucaramanga. Carrera 34 No. 54 – 92. Código postal: 680003
Cali. Calle 26 Norte No. 6 Bis – 19. Código postal: 760046
Medellín. Avenida calle 33 No. 74 B – 253. Código postal: 050031
Montería. Carrera 7 No. 43-25. Código postal: 050031
Neiva. Calle 11 No. 5 – 62. Código postal: 230001

- 1645 Información Comercial para el Sector Residencial y No Residencial – C1
- 1649 Registro de Operación Diario – T01
- 1647 Reporte Uso de los Subsidios por Menores Tarifas – C5

Periodos: Mensual desde el 2019 y hasta la fecha.

- 1652 Operativa Adicional Cabecera Municipal y Localidad Menor – T04

Periodos: Trimestral desde el 2019 y hasta la fecha”.

En atención a su solicitud, nos permitimos informarle que mediante correo electrónico del día 19 de mayo de 2023, le fue compartido 11 carpetas Drive las cuales contiene la información certificada por la prestadora Sociedad Productora de Energía de San Andes y Providencia S.A. E.S.P. - ID 1720, a través del Sistema Único de Información – SUI desde el año 2019 a la fecha.

La información estará dispuesta en el Drive hasta el 31 de mayo de 2023, para su descarga.

Finalmente, nos permitimos recordarle que para cualquier inquietud se puede comunicar de manera virtual por medio de la página web www.sui.gov.co (Link Centro de Soporte - Mesa de Ayuda) o al correo electrónico suienergiagas@superservicios.gov.co, recuerde que los trámites ante esta Superintendencia no requieren de intermediarios y son totalmente gratuitos.

Atentamente,



CRISTIAN CAMILO RAMÍREZ GONZÁLEZ
Coordinador Grupo SUI para el Sector de Energía y Gas

Copia: Sr. Nixon Andrés Millán García – Estudiante Maestría en Tecnologías Limpias
(nixonmillan@usantotomas.edu.co).

Proyectó: Liz Marcela Herrera - Grupo SUI para el Sector Energía y Gas
Revisó: Viviana Vanegas – Grupo SUI para el Sector Energía y Gas
Expediente: 2023203231100005E

Anexo 4. Eficiencias energéticas mensuales de las plantas Punta Evans y Bahía Garrett

#	Mes	Central Punta Evans - San Andrés				Central Bahía Garrett - Providencia y Santa Catalina				Galones totales	Consumo Total MWh/Mes
		Galones de Diesel utilizados	Consumo MWh/Mes	Calor liberado en MWh/mes	Eficiencia (%)	Galones de Diesel utilizados	Consumo MWh/Mes	Calor liberado en MWh/mes	Eficiencia (%)		
1	ene.-19	1.145.400	15.272	45.816	33,3	81.000	850	3.240	26,2	1.226.400	16.122
2	feb.-19	761.900	14.510	30.476	47,6	60.000	853	2.400	35,6	821.900	15.364
3	mar.-19	1.097.200	13.158	43.888	30,0	72.000	771	2.880	26,8	1.169.200	13.929
4	abr.-19	892.100	14.815	35.684	41,5	69.000	863	2.760	31,3	961.100	15.678
5	may.-19	1.193.700	14.936	47.748	31,3	81.000	904	3.240	27,9	1.274.700	15.840
6	jun.-19	1.131.500	15.446	45.260	34,1	83.000	915	3.320	27,6	1.214.500	16.361
7	jul.-19	1.073.100	16.033	42.924	37,4	75.000	979	3.000	32,6	1.148.100	17.012
8	ago.-19	1.181.800	16.414	47.272	34,7	93.000	994	3.720	26,7	1.274.800	17.408
9	sep.-19	1.129.800	16.803	45.192	37,2	81.000	1.000	3.240	30,9	1.210.800	17.803
10	oct.-19	1.025.700	16.090	41.028	39,2	81.000	956	3.240	29,5	1.106.700	17.045
11	nov.-19	1.169.100	15.593	46.764	33,3	72.000	905	2.880	31,4	1.241.100	16.498
12	dic.-19	1.043.400	15.427	41.736	37,0	76.000	907	3.040	29,8	1.119.400	16.333
13	ene.-20	1.134.400	15.828	45.376	34,9	86.500	929	3.460	26,8	1.220.900	16.756
14	feb.-20	968.200	15.460	38.728	39,9	73.000	922	2.920	31,6	1.041.200	16.382
15	mar.-20	1.013.800	14.532	40.552	35,8	66.000	871	2.640	33,0	1.079.800	15.404
16	abr.-20	1.134.400	14.770	45.376	32,6	86.500	887	3.460	25,6	1.220.900	15.657
17	may.-20	968.200	10.143	38.728	26,2	73.000	843	2.920	28,9	1.041.200	10.985
18	jun.-20	1.013.800	10.263	40.552	25,3	66.000	856	2.640	32,4	1.079.800	11.119
19	jul.-20	780.300	10.214	31.212	32,7	78.000	855	3.120	27,4	858.300	11.069
20	ago.-20	775.800	10.829	31.032	34,9	102.700	894	4.108	21,8	878.500	11.722
21	sep.-20	741.200	10.534	29.648	35,5	86.000	906	3.440	26,3	827.200	11.439

#	Mes	Central Punta Evans - San Andrés				Central Bahía Garrett - Providencia y Santa Catalina				Galones totales	Consumo Total MWh/Mes
		Galones de Diesel utilizados	Consumo MWh/Mes	Calor liberado en MWh/mes	Eficiencia (%)	Galones de Diesel utilizados	Consumo MWh/Mes	Calor liberado en MWh/mes	Eficiencia (%)		
22	oct.-20	926.561	10.951	37.062	29,5	76.000	914	3.040	30,1	1.002.561	11.865
23	nov.-20	773.700	12.319	30.948	39,8	45.000	887	1.800	49,3	818.700	13.207
24	dic.-20	878.700	11.242	35.148	32,0	11.000	417	440	94,9	889.700	11.660
25	ene.-21	952.000	12.807	38.080	33,6	34.000	99	1.360	7,3	986.000	12.905
26	feb.-21	888.700	13.368	35.548	37,6	39.000	303	1.560	19,4	927.700	13.671
27	mar.-21	1.031.190	12.374	41.248	30,0	112.000	427	4.480	9,5	1.143.190	12.800
28	abr.-21	992.350	13.823	39.694	34,8	52.000	539	2.080	25,9	1.044.350	14.361
29	may.-21	1.020.820	14.468	40.833	35,4	65.000	674	2.600	25,9	1.085.820	15.142
30	jun.-21	1.096.260	15.307	43.850	34,9	67.000	734	2.680	27,4	1.163.260	16.041
31	jul.-21	1.116.100	14.991	44.644	33,6	83.000	764	3.320	23,0	1.199.100	15.755
32	ago.-21	1.174.321	16.402	46.973	34,9	87.000	798	3.480	22,9	1.261.321	17.200
33	sep.-21	1.166.100	16.217	46.644	34,8	78.000	932	3.120	29,9	1.244.100	17.149
34	oct.-21	1.186.800	15.968	47.472	33,6	79.000	932	3.160	29,5	1.265.800	16.899
35	nov.-21	1.162.200	16.819	46.488	36,2	80.000	971	3.200	30,3	1.242.200	17.790
36	dic.-21	1.144.860	15.816	45.794	34,5	86.000	897	3.440	26,1	1.230.860	16.713
37	ene.-22	1.057.100	15.808	42.284	37,4	75.000	917	3.000	30,6	1.132.100	16.724
38	feb.-22	1.133.060	15.401	45.322	34,0	72.000	875	2.880	30,4	1.205.060	16.276
39	mar.-22	1.128.910	14.017	45.156	31,0	80.000	803	3.200	25,1	1.208.910	14.820
TOTAL		40.204.532	555.166	1.608.181		2.862.700	31.741	114.508		43.067.232	586.907
PROMEDIO		1.030.885	14.235	41.235	34,7	73.403	814	2.936	29,4	1.104.288	15.049

Fuente: Elaboración propia, a partir de información suministrada por la Superservicios, Radicado SSPD No. 20232031820831 del 19/05/2023

Anexo 5. Consumo San Andrés y providencia MWh/Mes por sectores

Consumo San Andrés MWh/Mes						Consumo Providencia MWh/Mes				
Mes	Residencial	Comercial	Oficial	Provisional	Total	Residencial	Comercial	Oficial	Provisional	Total
ene.-19	5.024	8.600	1.468	180	15.272	428	252	164	6	850
feb.-19	4.910	8.041	1.382	178	14.510	435	261	151	5	853
mar.-19	4.286	7.365	1.353	154	13.158	384	238	145	4	771
abr.-19	4.807	8.334	1.500	174	14.815	429	272	158	5	863
may.-19	4.988	8.284	1.490	174	14.936	453	284	162	5	904
jun.-19	5.137	8.612	1.511	187	15.446	457	279	175	3	915
jul.-19	5.441	8.894	1.503	196	16.033	500	303	173	4	979
ago.-19	5.538	9.132	1.537	207	16.414	507	315	168	4	994
sep.-19	5.665	9.400	1.545	193	16.803	507	318	172	4	1.000
oct.-19	5.308	9.092	1.501	188	16.090	483	291	178	4	956
nov.-19	5.117	8.829	1.458	188	15.593	455	284	163	3	905
dic.-19	5.060	8.775	1.411	182	15.427	448	286	171	2	907
ene.-20	5.226	9.015	1.391	195	15.828	446	298	183	2	929
feb.-20	5.182	8.704	1.381	194	15.460	462	288	167	4	922
mar.-20	4.654	8.336	1.339	204	14.532	418	277	173	3	871
abr.-20	6.061	7.198	1.310	201	14.770	456	249	179	3	887
may.-20	5.008	3.865	1.094	176	10.143	472	208	159	3	843
jun.-20	4.955	4.047	1.105	157	10.263	483	205	164	3	856
jul.-20	4.927	4.026	1.105	157	10.214	483	204	164	3	855
ago.-20	5.221	4.269	1.170	169	10.829	506	206	178	3	894
sep.-20	5.246	3.986	1.131	170	10.534	514	208	180	4	906
oct.-20	5.340	4.268	1.145	199	10.951	514	218	180	2	914
nov.-20	5.349	5.608	1.183	179	12.319	503	209	173	2	887
dic.-20	4.672	5.326	1.096	148	11.242	261	86	68	1	417
ene.-21	4.904	6.546	1.199	159	12.807	43	42	13	0	99
feb.-21	5.066	6.965	1.209	129	13.368	194	80	26	2	303
mar.-21	4.488	6.638	1.120	128	12.374	263	104	54	6	427
abr.-21	4.954	7.470	1.255	145	13.823	335	127	65	12	539
may.-21	5.230	7.825	1.283	130	14.468	388	151	119	16	674
jun.-21	5.669	8.141	1.369	128	15.307	432	176	97	31	734
jul.-21	5.451	8.117	1.299	124	14.991	425	179	119	41	764
ago.-21	5.907	8.952	1.411	131	16.402	476	179	106	37	798
sep.-21	5.752	8.877	1.445	143	16.217	504	223	146	60	932
oct.-21	5.547	8.827	1.459	134	15.968	512	255	103	61	932
nov.-21	5.928	9.289	1.459	142	16.819	541	259	112	57	971
dic.-21	5.450	8.825	1.407	134	15.816	510	241	93	53	897

Consumo San Andrés MWh/Mes						Consumo Providencia MWh/Mes				
Mes	Residencial	Comercial	Oficial	Provisional	Total	Residencial	Comercial	Oficial	Provisional	Total
ene.-22	5.411	8.903	1.367	127	15.808	484	279	100	54	917
feb.-22	5.366	8.595	1.314	126	15.401	476	253	95	50	875
mar.-22	4.698	7.933	1.265	120	14.017	436	228	91	47	803
abr.-22	5.454	9.208	1.471	146	16.280	505	265	104	49	923
may.-22	5.427	8.882	1.376	159	15.844	511	285	96	49	941
jun.-22	5.631	8.938	1.451	180	16.201	556	291	101	53	1.002
jul.-22	5.207	8.484	1.197	161	15.049	546	288	62	58	953
ago.-22	5.953	9.298	1.331	187	16.769	602	285	59	107	1.052
sep.-22	5.632	9.282	1.315	178	16.407	579	314	60	139	1.093
oct.-22	5.693	9.246	1.350	174	16.463	578	310	66	141	1.094
nov.-22	5.631	8.965	1.298	160	16.053	555	291	67	136	1.049
dic.-22	5.164	8.569	1.205	146	15.084	533	298	69	129	1.030
ene.-23	5.496	8.927	1.284	160	15.867	555	300	67	135	1.058
feb.-23	5.430	8.820	1.262	155	15.668	548	297	68	133	1.046
mar.-23	5.363	8.772	1.251	153	15.540	545	298	68	133	1.044
abr.-23	5.430	8.840	1.266	156	15.692	549	298	68	134	1.049
may.-23	5.408	8.811	1.260	155	15.633	547	298	68	133	1.046

Fuente: Elaboración propia, a partir de información suministrada por la Superservicios, Radicado SSPD No. 20232031820831 del 19/05/2023

Anexo 6. Costo del Diésel y el GLP (COP\$/gal)

Mes/Año	DIESEL (COP\$/gal)	GLP (COP\$/gal) Refinería de Cartagena
ene-19	5.997	2.202
feb-19	6.049	2.096
mar-19	6.121	2.046
abr-19	6.121	2.089
may-19	6.121	2.053
jun-19	6.121	1.918
jul-19	6.140	1.389
ago-19	6.193	1.605
sep-19	6.207	1.457
oct-19	6.489	1.759
nov-19	6.489	1.844
dic-19	6.387	1.904
ene-20	6.339	1.557
feb-20	6.320	1.415
mar-20	6.320	1.302
abr-20	5.820	1.331
may-20	5.820	1.280
jun-20	5.820	1.547
jul-20	5.820	1.866
ago-20	5.589	1.923
sep-20	5.666	1.959
oct-20	5.383	1.923
nov-20	5.333	2.028
dic-20	5.502	2.024
ene-21	5.541	2.261
feb-21	5.453	3.092
mar-21	5.641	3.303

Mes/Año	DIESEL (COP\$/gal)	GLP (COP\$/gal) Refinería de Cartagena
abr-21	5.791	3.486
may-21	5.450	3.106
jun-21	5.450	3.294
jul-21	5.279	3.766
ago-21	5.617	4.310
sep-21	5.617	4.429
oct-21	5.618	5.287
nov-21	5.618	5.575
dic-21	5.618	5.085
ene-22	5.685	3.675
feb-22	5.503	3.682
mar-22	5.503	3.725
abr-22	5.512	3.671
may-22	5.512	3.697
jun-22	5.512	3.694
jul-22	5.512	5.128
ago-22	5.651	5.118
sep-22	5.651	4.965
oct-22	5.890	4.668
nov-22	6.076	4.390
dic-22	5.885	4.276
ene-23	5.875	3.622
feb-23	5.791	3.978
mar-23	5.767	4.163
abr-23	5.766	3.732
may-23	5.766	3.857
Promedio	5.806	3.010
Desviación Estándar	313	1.292

Fuente: Elaboración propia, a partir de información publicada por (ECOPETROL, 2023)

Anexo 7. Galones de Diésel comprados por SOPESA S.A. E.S.P. para San Andrés y Providencia

SAN ANDRÉS				PROVIDENCIA		
Mes	Gal Diesel	COP\$/gal Diésel	DIÉSEL COP\$	Gal Diesel	COP\$/gal Diésel	DIÉSEL COP\$
ene.-19	1,145,400	6,543	7,494,489,648	81,000	6,543	529,992,720
feb.-19	761,900	6,544	4,986,010,742	60,000	6,538	392,281,200
mar.-19	1,097,200	6,597	7,237,723,688	72,000	6,577	473,557,680
abr.-19	892,100	6,642	5,925,265,753	69,000	6,642	458,293,170
may.-19	1,193,700	6,642	7,928,471,841	81,000	6,642	537,996,330
jun.-19	1,131,500	6,655	7,529,578,065	83,000	6,655	552,324,330
jul.-19	1,073,100	6,846	7,346,893,302	75,000	6,846	513,481,500
ago.-19	1,181,800	6,882	8,133,242,144	93,000	6,876	639,438,240
sep.-19	1,129,800	6,994	7,901,911,584	81,000	6,944	562,483,440
oct.-19	1,025,700	7,155	7,338,883,500	81,000	7,168	580,569,120
nov.-19	1,169,100	7,020	8,207,152,146	72,000	7,004	504,278,640

SAN ANDRÉS				PROVIDENCIA		
Mes	Gal Diesel	COP\$/gal Diésel	DIÉSEL COP\$	Gal Diesel	COP\$/gal Diésel	DIÉSEL COP\$
dic.-19	1,043,400	6,842	7,138,859,328	76,000	6,866	521,842,600
ene.-20	1,134,400	6,927	7,858,238,368	86,500	6,927	599,204,530
feb.-20	968,200	6,920	6,699,595,448	73,000	6,920	505,133,720
mar.-20	1,013,800	6,806	6,900,358,734	66,000	6,807	449,271,240
abr.-20	1,134,400	6,927	7,858,238,368	86,500	6,927	599,204,530
may.-20	968,200	6,920	6,699,595,448	73,000	6,920	505,133,720
jun.-20	1,013,800	6,806	6,900,358,734	66,000	6,807	449,271,240
jul.-20	780,300	6,326	4,935,912,498	78,000	6,332	493,921,740
ago.-20	775,800	6,271	4,865,421,942	102,700	6,276	644,552,389
sep.-20	741,200	6,091	4,514,419,428	86,000	6,105	525,000,760
oct.-20	926,561	5,929	5,493,672,825	76,000	5,929	450,597,920
nov.-20	773,700	5,885	4,553,402,451	45,000	5,896	265,299,750
dic.-20	878,700	6,026	5,295,336,171	11,000	6,074	66,819,060
ene.-21	952,000	6,097	5,804,125,040	34,000	6,097	207,290,180
feb.-21	888,700	6,162	5,475,929,451	39,000	6,157	240,113,250
mar.-21	1,031,190	6,274	6,469,912,922	112,000	6,270	702,205,280
abr.-21	992,350	6,145	6,097,494,575	52,000	6,181	321,420,320
may.-21	1,020,820	5,971	6,095,448,927	65,000	5,971	388,123,450
jun.-21	1,096,260	5,956	6,528,776,430	67,000	6,008	402,541,360
jul.-21	1,116,100	5,891	6,575,067,871	83,000	5,862	486,557,620
ago.-21	1,174,321	6,062	7,118,968,766	87,000	6,093	530,118,840
sep.-21	1,166,100	6,114	7,130,013,501	78,000	6,114	476,870,160
oct.-21	1,186,800	6,100	7,240,002,192	79,000	6,100	481,934,760
nov.-21	1,162,200	6,100	7,089,931,368	80,000	6,100	488,035,200
dic.-21	1,144,860	6,057	6,934,657,441	86,000	6,058	521,026,700
ene.-22	1,057,100	6,141	6,491,947,088	75,000	6,141	460,596,000
feb.-22	1,133,060	5,890	6,673,700,739	72,000	5,890	424,078,560
mar.-22	1,128,910	5,869	6,625,211,539	80,000	5,872	469,765,600
Promedio	1,030,885	6,411	6,617,800,513	73,403	6,414	472,323,765

Fuente: Elaboración propia, a partir de información suministrada por la Superservicios, Radicado SSPD No. 20232031820831 del 19/05/2023

Anexo 8. Costos del flete del Diésel y el GLP

Mes	DIÉSEL (COP\$/gal) sin flete	DIÉSEL (COP\$/gal) con flete	Flete DIÉSEL (COP\$/gal)	% Flete en el costo del DIÉSEL	GLP (COP\$/gal) sin flete	Flete GLP (COP\$/gal)	GLP (COP\$/gal) con flete
ene-19	5,997	6,543	546	8.35%	2,202	184	2,386
feb-19	6,049	6,544	495	7.57%	2,096	159	2,254
mar-19	6,121	6,597	476	7.22%	2,046	148	2,194
abr-19	6,121	6,642	521	7.85%	2,089	164	2,253
may-19	6,121	6,642	521	7.85%	2,053	161	2,214
jun-19	6,121	6,655	534	8.02%	1,918	154	2,072
jul-19	6,140	6,846	707	10.32%	1,389	143	1,532
ago-19	6,193	6,882	689	10.01%	1,605	161	1,765
sep-19	6,207	6,994	787	11.25%	1,457	164	1,621
oct-19	6,489	7,155	666	9.30%	1,759	164	1,923
nov-19	6,489	7,020	531	7.56%	1,844	139	1,984
dic-19	6,387	6,842	455	6.66%	1,904	127	2,031
ene-20	6,339	6,927	588	8.49%	1,557	132	1,689
feb-20	6,320	6,920	599	8.66%	1,415	123	1,538
mar-20	6,320	6,806	486	7.14%	1,302	93	1,395
abr-20	5,820	6,927	1,107	15.98%	1,331	213	1,544
may-20	5,820	6,920	1,099	15.89%	1,280	203	1,483
jun-20	5,820	6,806	986	14.49%	1,547	224	1,772
jul-20	5,820	6,326	505	7.99%	1,866	149	2,015
ago-20	5,589	6,271	682	10.88%	1,923	209	2,133
sep-20	5,666	6,091	424	6.97%	1,959	136	2,095
oct-20	5,383	5,929	547	9.22%	1,923	177	2,101
nov-20	5,333	5,885	552	9.38%	2,028	190	2,218
dic-20	5,502	6,026	524	8.70%	2,024	176	2,200
ene-21	5,541	6,097	556	9.12%	2,261	206	2,467
feb-21	5,453	6,162	709	11.50%	3,092	356	3,447
mar-21	5,641	6,274	634	10.10%	3,303	334	3,637
abr-21	5,791	6,145	354	5.76%	3,486	201	3,687
may-21	5,450	5,971	521	8.72%	3,106	271	3,377
jun-21	5,450	5,956	505	8.48%	3,294	279	3,573
jul-21	5,279	5,891	612	10.39%	3,766	391	4,157
ago-21	5,617	6,062	445	7.35%	4,310	317	4,627
sep-21	5,617	6,114	498	8.14%	4,429	360	4,789
oct-21	5,618	6,100	483	7.92%	5,287	418	5,705
nov-21	5,618	6,100	483	7.92%	5,575	441	6,016
dic-21	5,618	6,057	440	7.26%	5,085	369	5,454
ene-22	5,685	6,141	456	7.42%	3,675	273	3,948
feb-22	5,503	5,890	387	6.56%	3,682	242	3,924
mar-22	5,503	5,869	365	6.22%	3,725	232	3,957

Elaboración propia, a partir de información publicada por (ECOPETROL, 2023)

Anexo 9. Costo de galones de GLP para San Andrés y Providencia Escenario 1 y 2

Mes	COP\$/gal GLP	ESCENARIO 1				ESCENARIO 2	
		SAN ANDRÉS		PROVIDENCIA		SAN ANDRÉS	PROVIDENCIA
		Gal GLP	GLP COP\$	Gal GLP	GLP COP\$	GLP COP\$	GLP COP\$
ene.-19	2.386	1.558.367	3.718.263.662	110.204	262.946.744	2.732.924.400	193.266.000
feb.-19	2.254	1.036.599	2.336.494.146	81.633	184.000.782	1.717.322.600	135.240.000
mar.-19	2.194	1.492.789	3.275.179.066	97.959	214.922.046	2.407.256.800	157.968.000
abr.-19	2.253	1.213.741	2.734.558.473	93.878	211.507.134	2.009.901.300	155.457.000
may.-19	2.214	1.624.082	3.595.717.548	110.204	243.991.656	2.642.851.800	179.334.000
jun.-19	2.072	1.539.456	3.189.752.832	112.925	233.980.600	2.344.468.000	171.976.000
jul.-19	1.532	1.460.000	2.236.720.000	102.041	156.326.812	1.643.989.200	114.900.000
ago.-19	1.765	1.607.891	2.837.927.615	126.531	223.327.215	2.085.877.000	164.145.000
sep.-19	1.621	1.537.143	2.491.708.803	110.204	178.640.684	1.831.405.800	131.301.000
oct.-19	1.923	1.395.510	2.683.565.730	110.204	211.922.292	1.972.421.100	155.763.000
nov.-19	1.984	1.590.612	3.155.774.208	97.959	194.350.656	2.319.494.400	142.848.000
dic.-19	2.031	1.419.592	2.883.191.352	103.401	210.007.431	2.119.145.400	154.356.000
ene.-20	1.689	1.543.401	2.606.804.289	117.687	198.773.343	1.916.001.600	146.098.500
feb.-20	1.538	1.317.279	2.025.975.102	99.320	152.754.160	1.489.091.600	112.274.000
mar.-20	1.395	1.379.320	1.924.151.400	89.796	125.265.420	1.414.251.000	92.070.000
abr.-20	1.544	1.543.401	2.383.011.144	117.687	181.708.728	1.751.513.600	133.556.000
may.-20	1.483	1.317.279	1.953.524.757	99.320	147.291.560	1.435.840.600	108.259.000
jun.-20	1.772	1.379.320	2.444.155.040	89.796	159.118.512	1.796.453.600	116.952.000
jul.-20	2.015	1.061.633	2.139.190.495	106.122	213.835.830	1.572.304.500	157.170.000
ago.-20	2.133	1.055.510	2.251.402.830	139.728	298.039.824	1.654.781.400	219.059.100
sep.-20	2.095	1.008.435	2.112.671.325	117.007	245.129.665	1.552.814.000	180.170.000
oct.-20	2.101	1.260.627	2.648.577.327	103.401	217.245.501	1.946.704.661	159.676.000
nov.-20	2.218	1.052.653	2.334.784.354	61.224	135.794.832	1.716.066.600	99.810.000
dic.-20	2.200	1.195.510	2.630.122.000	14.966	32.925.200	1.933.140.000	24.200.000
ene.-21	2.467	1.295.238	3.195.352.146	46.259	114.120.953	2.348.584.000	83.878.000

Mes	COP\$/gal GLP	ESCENARIO 1				ESCENARIO 2	
		SAN ANDRÉS		PROVIDENCIA		SAN ANDRÉS	PROVIDENCIA
		Gal GLP	GLP COP\$	Gal GLP	GLP COP\$	GLP COP\$	GLP COP\$
feb.-21	3.447	1.209.116	4.167.822.852	53.061	182.901.267	3.063.348.900	134.433.000
mar.-21	3.637	1.402.980	5.102.638.260	152.381	554.209.697	3.750.438.030	407.344.000
abr.-21	3.687	1.350.136	4.977.951.432	70.748	260.847.876	3.658.794.450	191.724.000
may.-21	3.377	1.388.871	4.690.217.367	88.435	298.644.995	3.447.309.140	219.505.000
jun.-21	3.573	1.491.510	5.329.165.230	91.156	325.700.388	3.916.936.980	239.391.000
jul.-21	4.157	1.518.503	6.312.416.971	112.925	469.429.225	4.639.627.700	345.031.000
ago.-21	4.627	1.597.716	7.392.631.932	118.367	547.684.109	5.433.583.267	402.549.000
sep.-21	4.789	1.586.531	7.597.896.959	106.122	508.218.258	5.584.452.900	373.542.000
oct.-21	5.705	1.614.694	9.211.829.270	107.483	613.190.515	6.770.694.000	450.695.000
nov.-21	6.016	1.581.224	9.512.643.584	108.844	654.805.504	6.991.795.200	481.280.000
dic.-21	5.454	1.557.633	8.495.330.382	117.007	638.156.178	6.244.066.440	469.044.000
ene.-22	3.948	1.438.231	5.678.135.988	102.041	402.857.868	4.173.430.800	296.100.000
feb.-22	3.924	1.541.578	6.049.152.072	97.959	384.391.116	4.446.127.440	282.528.000
mar.-22	3.957	1.535.932	6.077.682.924	108.844	430.695.708	4.467.096.870	316.560.000
TOTAL		54.700.043	156.384.090.867	3.894.829	11.019.660.284	114.942.307.078	8.099.452.600
PROMEDIO	2.799	1.402.565	4.009.848.484	99.867	282.555.392	2.947.238.643	207.678.272

Fuente: Elaboración propia, a partir de información suministrada por la Superservicios, Radicado SSPD No. 20232031820831 del 19/05/2023

Anexo 10. Tarifas Reguladas SOPESA S.A. E.S.P.

Mes Año	NIVEL I (\$/kWh)						NIVEL II (\$/kWh)					
	CUn,m	Gcm	IAOMn,m	Am	Mm	Pn,m	CUn,m	Gcm	IAOMn,m	Am	Mm	Pn,m
ene-19	918,82	400,45	463,76	-	-	0,12	814,20	400,45	388,19	-	-	0,06
feb-19	918,17	399,06	464,69	-	-	0,12	813,51	399,06	388,98	-	-	0,06
mar-19	917,52	397,67	465,62	-	-	0,12	812,81	397,67	389,76	-	-	0,06
abr-19	933,53	410,22	467,37	-	-	0,12	827,62	410,22	391,22	-	-	0,06
may-19	934,54	407,48	471,49	-	-	0,12	828,16	407,48	394,67	-	-	0,06
jun-19	940,12	407,75	476,77	-	-	0,12	832,87	407,75	399,09	-	-	0,06
jul-19	958,21	424,65	475,65	-	-	0,12	849,42	424,65	397,66	-	-	0,06
ago-19	958,27	421,84	478,91	-	-	0,12	849,65	421,84	400,88	-	-	0,06
sep-19	960,54	420,80	482,36	-	-	0,12	851,43	420,80	403,77	-	-	0,06
oct-19	1.005,58	458,23	484,86	-	-	0,12	893,34	458,23	405,86	-	-	0,06
nov-19	983,57	435,07	489,17	-	-	0,12	869,80	435,07	406,96	-	-	0,06
dic-19	960,93	418,66	485,18	-	-	0,12	851,51	418,66	406,13	-	-	0,06
ene-20	968,47	425,12	485,38	-	-	0,12	858,55	425,12	406,29	-	-	0,06
feb-20	969,77	426,33	485,30	-	-	0,12	859,77	426,33	406,23	-	-	0,06
mar-20	966,72	423,65	485,30	-	-	0,12	860,11	426,65	406,23	-	-	0,06
abr-20	944,62	400,95	488,99	-	-	0,12	835,85	400,95	409,31	-	-	0,06
may-20	955,71	413,09	486,29	-	-	0,12	846,52	413,09	407,06	-	-	0,06
jun-20	959,18	416,46	485,93	-	-	0,12	849,80	416,46	406,76	-	-	0,06
jul-20	960,35	417,17	486,29	-	-	0,12	850,86	417,17	407,06	-	-	0,06
ago-20	949,30	406,86	486,96	-	-	0,12	840,45	406,86	407,62	-	-	0,06
sep-20	953,13	407,50	490,06	-	-	0,12	843,72	407,50	410,21	-	-	0,06
oct-20	935,85	391,74	490,69	-	-	0,12	827,48	391,74	410,74	-	-	0,06
nov-20	889,95	348,83	493,55	-	-	0,12	822,51	384,83	413,12	-	-	0,06
dic-20	883,91	343,90	493,11	-	-	0,12	831,81	393,90	412,77	-	-	0,06
ene-21	911,96	368,34	493,39	-	-	0,12	804,85	368,34	413,00	-	-	0,06
feb-21	915,16	364,73	500,69	-	-	0,12	807,12	364,73	419,11	-	-	0,06
mar-21	932,99	373,55	508,50	-	-	0,12	823,04	373,55	425,65	-	-	0,06
abr-21	955,13	383,08	519,81	-	-	0,12	842,64	383,08	435,11	-	-	0,06
may-21	939,23	362,46	527,34	-	-	0,12	827,02	362,46	441,42	-	-	0,06
jun-21	955,93	366,12	539,88	-	-	0,12	841,40	366,12	451,91	-	-	0,06
jul-21	944,33	353,43	542,70	-	-	0,12	830,26	353,43	454,27	-	-	0,06
ago-21	971,95	371,39	549,92	-	-	0,12	855,42	371,39	460,32	-	-	0,06
sep-21	992,07	386,48	552,89	-	-	0,12	873,96	386,48	462,81	-	-	0,06
oct-21	1.000,90	389,53	558,25	-	-	0,12	881,68	389,53	467,29	-	-	0,06
nov-21	998,42	380,97	565,50	-	-	0,12	878,65	380,97	473,36	-	-	0,06

Mes Año	NIVEL I (\$/kWh)						NIVEL II (\$/kWh)					
	CUn,m	Gcm	IAOMn,m	Am	Mm	Pn,m	CUn,m	Gcm	IAOMn,m	Am	Mm	Pn,m
dic-21	1.006,46	378,48	576,37	-	-	0,12	885,10	378,48	482,46	-	-	0,06
ene-22	1.015,54	378,26	585,70	-	-	0,12	892,67	378,26	490,27	-	-	0,06
feb-22	1.017,54	362,05	606,12	-	-	0,12	892,53	362,05	507,37	-	-	0,06
mar-22	1.036,66	364,42	622,55	-	-	0,12	908,79	364,42	521,11	-	-	0,06
abr-22	1.054,94	367,56	637,26	-	-	0,12	924,45	367,56	533,43	-	-	0,06
may-22	1.064,49	368,14	646,15	-	-	0,12	932,51	368,14	540,87	-	-	0,06
jun-22	1.090,81	377,51	661,82	-	-	0,12	955,60	377,51	553,99	-	-	0,06
jul-22	1.093,53	378,61	663,29	-	-	0,12	957,99	378,61	555,21	-	-	0,06
ago-22	1.113,55	381,60	679,91	-	-	0,12	975,09	381,60	569,13	-	-	0,06
sep-22	1.110,03	381,54	676,46	-	-	0,12	972,13	381,54	566,24	-	-	0,06
oct-22	1.137,95	403,57	679,35	-	-	0,12	997,99	403,57	568,66	-	-	0,06
nov-22	1.167,42	419,51	690,70	-	-	0,12	1.024,46	419,52	578,16	-	-	0,06
dic-22	1.162,30	403,70	703,55	-	-	0,12	1.018,39	403,70	588,92	-	-	0,06
ene-23	1.157,52	403,65	698,83	-	-	0,12	1.017,58	406,65	584,97	-	-	0,06
feb-23	1.183,42	417,40	709,10	-	-	0,12	1.037,61	417,40	593,57	-	-	0,06
mar-23	1.200,36	422,99	719,69	-	-	0,12	1.052,42	422,99	602,43	-	-	0,06
abr-23	1.199,85	422,78	719,42	-	-	0,12	1.051,97	422,78	602,20	-	-	0,06
may-23	1.181,89	414,62	710,73	-	-	0,12	1.036,02	414,62	594,93	-	-	0,06

Fuente: elaboración propia a partir de información de (SOPESA, 2023)

Anexo 11. Costo Unitario de Prestación del Servicio de Energía Eléctrica con GLP, nivel de tensión I y II

Mes/Año	NIVEL I						NIVEL II					
	Peso Gc	Gcm		CU		Δ \$/kWh	Peso Gc	Gcm		CU		Δ \$/kWh
		DIESEL	GLP	DIESEL	GLP			DIESEL	GLP	DIESEL	GLP	
ene-19	43.58%	400.45	147.04	919	665	253.41	49.18%	400.45	147.04	814	561	253.41
feb-19	43.46%	399.06	138.26	918	657	260.80	49.05%	399.06	138.26	814	553	260.80
mar-19	43.34%	397.67	132.94	918	653	264.73	48.93%	397.67	132.94	813	548	264.73
abr-19	43.94%	410.22	140.00	934	663	270.22	49.57%	410.22	140.00	828	557	270.22
may-19	43.60%	407.48	136.69	935	664	270.79	49.20%	407.48	136.69	828	557	270.79
jun-19	43.37%	407.75	127.78	940	660	279.97	48.96%	407.75	127.78	833	553	279.97
jul-19	44.32%	424.65	96.07	958	630	328.58	49.99%	424.65	96.07	849	521	328.58

Mes/Año	NIVEL I						NIVEL II					
	Peso Gc	Gcm		CU		Δ \$/kWh	Peso Gc	Gcm		CU		Δ \$/kWh
		DIESEL	GLP	DIESEL	GLP			DIESEL	GLP	DIESEL	GLP	
ago-19	44.02%	421.84	109.29	958	646	312.55	49.65%	421.84	109.29	850	537	312.55
sep-19	43.81%	420.8	98.79	961	639	322.01	49.42%	420.8	98.79	851	529	322.01
oct-19	45.57%	458.23	124.21	1006	672	334.02	51.29%	458.23	124.21	893	559	334.02
nov-19	44.23%	435.07	123.65	984	672	311.42	50.02%	435.07	123.65	870	558	311.42
dic-19	43.57%	418.66	124.84	961	667	293.82	49.17%	418.66	124.84	852	558	293.82
ene-20	43.90%	425.12	104.41	968	648	320.71	49.52%	425.12	104.41	859	538	320.71
feb-20	43.96%	426.33	95.45	970	639	330.88	49.59%	426.33	95.45	860	529	330.88
mar-20	43.82%	423.65	87.30	967	630	336.35	49.60%	426.65	87.92	860	521	338.73
abr-20	42.45%	400.95	91.70	945	635	309.25	47.97%	400.95	91.70	836	527	309.25
may-20	43.22%	413.09	90.83	956	633	322.26	48.80%	413.09	90.83	847	524	322.26
jun-20	43.42%	416.46	110.72	959	653	305.74	49.01%	416.46	110.72	850	544	305.74
jul-20	43.44%	417.17	133.72	960	677	283.45	49.03%	417.17	133.72	851	567	283.45
ago-20	42.86%	406.86	140.02	949	682	266.84	48.41%	406.86	140.02	840	574	266.84
sep-20	42.75%	407.5	140.87	953	687	266.63	48.30%	407.5	140.87	844	577	266.63
oct-20	41.86%	391.74	139.98	936	684	251.76	47.34%	391.74	139.98	827	576	251.76
nov-20	39.20%	348.83	132.63	890	674	216.20	46.79%	384.83	146.32	823	584	238.51
dic-20	38.91%	343.9	126.50	884	667	217.40	47.35%	393.9	144.89	832	583	249.01
ene-21	40.39%	368.34	150.31	912	694	218.03	45.76%	368.34	150.31	805	587	218.03
feb-21	39.85%	364.73	206.78	915	757	157.95	45.19%	364.73	206.78	807	649	157.95
mar-21	40.04%	373.55	218.74	933	778	154.81	45.39%	373.55	218.74	823	668	154.81
abr-21	40.11%	383.08	230.61	955	803	152.47	45.46%	383.08	230.61	843	690	152.47
may-21	38.59%	362.46	206.57	939	783	155.89	43.83%	362.46	206.57	827	671	155.89
jun-21	38.30%	366.12	221.26	956	811	144.86	43.51%	366.12	221.26	841	697	144.86
jul-21	37.43%	353.43	252.14	944	843	101.29	42.57%	353.43	252.14	830	729	101.29
ago-21	38.21%	371.39	285.00	972	886	86.39	43.42%	371.39	285.00	855	769	86.39
sep-21	38.96%	386.48	304.72	992	910	81.76	44.22%	386.48	304.72	874	792	81.76
oct-21	38.92%	389.53	366.60	1001	978	22.93	44.18%	389.53	366.60	882	859	22.93
nov-21	38.16%	380.97	378.09	998	996	2.88	43.36%	380.97	378.09	879	876	2.88
dic-21	37.61%	378.48	342.60	1006	971	35.88	42.76%	378.48	342.60	885	849	35.88
ene-22	37.25%	378.26	244.49	1016	882	133.77	42.37%	378.26	244.49	893	759	133.77
feb-22	35.58%	362.05	242.23	1018	898	119.82	40.56%	362.05	242.23	893	773	119.82
mar-22	35.15%	364.42	246.64	1037	919	117.78	40.10%	364.42	246.64	909	791	117.78
abr-22	34.84%	367.56	244.77	1055	932	122.79	39.76%	367.56	244.77	924	802	122.79
may-22	34.58%	368.14	246.92	1064	943	121.22	39.48%	368.14	246.92	933	811	121.22
jun-22	34.61%	377.51	252.97	1091	966	124.54	39.51%	377.51	252.97	956	831	124.54

Mes/Año	NIVEL I						NIVEL II					
	Peso Gc	Gcm		CU		Δ \$/kWh	Peso Gc	Gcm		CU		Δ \$/kWh
		DIESEL	GLP	DIESEL	GLP			DIESEL	GLP	DIESEL	GLP	
jul-22	34.62%	378.61	352.26	1094	1067	26.35	39.52%	378.61	352.26	958	932	26.35
ago-22	34.27%	381.6	345.56	1114	1078	36.04	39.13%	381.6	345.56	975	939	36.04
sep-22	34.37%	381.54	335.18	1110	1064	46.36	39.25%	381.54	335.18	972	926	46.36
oct-22	35.46%	403.57	319.81	1138	1054	83.76	40.44%	403.57	319.81	998	914	83.76
nov-22	35.93%	419.51	303.08	1167	1051	116.43	40.95%	419.52	303.09	1024	908	116.43
dic-22	34.73%	403.7	293.35	1162	1052	110.35	39.64%	403.7	293.35	1018	908	110.35
ene-23	34.87%	403.65	248.86	1158	1003	154.79	39.96%	406.65	250.71	1018	862	155.94
feb-23	35.27%	417.4	286.74	1183	1053	130.66	40.23%	417.4	286.74	1038	907	130.66
mar-23	35.24%	422.99	305.30	1200	1083	117.69	40.19%	422.99	305.30	1052	935	117.69
abr-23	35.24%	422.78	273.63	1200	1051	149.15	40.19%	422.78	273.63	1052	903	149.15
may-23	35.08%	414.62	277.34	1182	1045	137.28	40.02%	414.62	277.34	1036	899	137.28

Fuente: Elaboración propia a partir de información de (SOPESA, 2023) y (ECOPETROL, 2023)

Anexo 12. Emisiones CO2 archipiélago San Andrés y Providencia

Mes	Galones totales diésel	Consumo MWh	DIESEL		GLP Escenario 1			GLP Escenario 2	
			Emisiones Ton CO2	Ton CO2/MWh	Galones de GLP totales necesitados	Emisiones Ton CO2	Ton CO2/MWh	Emisiones Ton CO2	Ton CO2/MWh
Ene-19	1.226.400	16.122	12.447	0,77	1.668.571	10.796	0,67	7.935	0,49
Feb-19	821.900	15.364	8.341	0,54	1.118.231	7.235	0,47	5.318	0,35
Mar-19	1.169.200	13.929	11.866	0,85	1.590.748	10.292	0,74	7.565	0,54
Abr-19	961.100	15.678	9.754	0,62	1.307.619	8.460	0,54	6.218	0,40
May-19	1.274.700	15.840	12.937	0,82	1.734.286	11.221	0,71	8.247	0,52
Jun-19	1.214.500	16.361	12.326	0,75	1.652.381	10.691	0,65	7.858	0,48
Jul-19	1.148.100	17.012	11.652	0,68	1.562.041	10.106	0,59	7.428	0,44
Ago-19	1.274.800	17.408	12.938	0,74	1.734.422	11.222	0,64	8.248	0,47
Sep-19	1.210.800	17.803	12.288	0,69	1.647.347	10.658	0,60	7.834	0,44
Oct-19	1.106.700	17.045	11.232	0,66	1.505.714	9.742	0,57	7.160	0,42
Nov-19	1.241.100	16.498	12.596	0,76	1.688.571	10.925	0,66	8.030	0,49
Dic-19	1.119.400	16.333	11.361	0,70	1.522.993	9.854	0,60	7.243	0,44
Ene-20	1.220.900	16.756	12.391	0,74	1.661.088	10.747	0,64	7.899	0,47
Feb-20	1.041.200	16.382	10.567	0,65	1.416.599	9.165	0,56	6.737	0,41
Mar-20	1.079.800	15.404	10.959	0,71	1.469.116	9.505	0,62	6.986	0,45
Abr-20	1.220.900	15.657	12.391	0,79	1.661.088	10.747	0,69	7.899	0,50
May-20	1.041.200	10.985	10.567	0,96	1.416.599	9.165	0,83	6.737	0,61
Jun-20	1.079.800	11.119	10.959	0,99	1.469.116	9.505	0,85	6.986	0,63
Jul-20	858.300	11.069	8.711	0,79	1.167.755	7.555	0,68	5.553	0,50
Ago-20	878.500	11.722	8.916	0,76	1.195.238	7.733	0,66	5.684	0,48
Sep-20	827.200	11.439	8.395	0,73	1.125.442	7.282	0,64	5.352	0,47
Oct-20	1.002.561	11.865	10.175	0,86	1.364.029	8.825	0,74	6.487	0,55
Nov-20	818.700	13.207	8.309	0,63	1.113.878	7.207	0,55	5.297	0,40
Dic-20	889.700	11.660	9.030	0,77	1.210.476	7.832	0,67	5.756	0,49
Ene-21	986.000	12.905	10.007	0,78	1.341.497	8.679	0,67	6.379	0,49
Feb-21	927.700	13.671	9.415	0,69	1.262.177	8.166	0,60	6.002	0,44
Mar-21	1.143.190	12.800	11.602	0,91	1.555.361	10.063	0,79	7.396	0,58
Abr-21	1.044.350	14.361	10.599	0,74	1.420.884	9.193	0,64	6.757	0,47
May-21	1.085.820	15.142	11.020	0,73	1.477.306	9.558	0,63	7.025	0,46
Jun-21	1.163.260	16.041	11.806	0,74	1.582.667	10.240	0,64	7.526	0,47

Mes	Galones totales diésel	Consumo MWh	DIESEL		GLP Escenario 1			GLP Escenario 2	
			Emisiones Ton CO2	Ton CO2/MWh	Galones de GLP totales necesitados	Emisiones Ton CO2	Ton CO2/MWh	Emisiones Ton CO2	Ton CO2/MWh
Jul-21	1.199.100	15.755	12.170	0,77	1.631.429	10.555	0,67	7.758	0,49
Ago-21	1.261.321	17.200	12.801	0,74	1.716.083	11.103	0,65	8.161	0,47
Sep-21	1.244.100	17.149	12.626	0,74	1.692.653	10.951	0,64	8.049	0,47
Oct-21	1.265.800	16.899	12.847	0,76	1.722.177	11.142	0,66	8.190	0,48
Nov-21	1.242.200	17.790	12.607	0,71	1.690.068	10.935	0,61	8.037	0,45
Dic-21	1.230.860	16.713	12.492	0,75	1.674.639	10.835	0,65	7.964	0,48
Ene-22	1.132.100	16.724	11.490	0,69	1.540.272	9.966	0,60	7.325	0,44
Feb-22	1.205.060	16.276	12.230	0,75	1.639.537	10.608	0,65	7.797	0,48
Mar-22	1.208.910	14.820	12.269	0,83	1.644.776	10.642	0,72	7.822	0,53
TOTAL	43.067.232	586.907	437.089		58.594.873	379.109		278.645	
PROMEDIO	1.104.288	15.049	11.207	0,75	1.502.433	9.721	0,65	7.145	0,48

Fuente: Elaboración propia