

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Análisis del Sistema de Autogeneración de Energía para el Funcionamiento en un Campo
Petrolero de la Cuenca Sedimentaria Caguán-Putumayo

Juan Carlos Martínez Aguas

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Especialista en
Ingeniería del Gas

Director:

Álvaro Ruiz Rodríguez

Magíster en Administración de Empresas

Universidad industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Especialización en Ingeniería del Gas

Bucaramanga

2023

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Contenido

	Pág.
Introducción	8
1. Objetivos	11
1.1 Objetivo General	11
2. Generalidades del Campo	12
2.1 Historia del Campo.....	12
2.2 Localización	12
3. Generalidades del Gas	14
3.1. Propiedades y Comportamiento del Gas Natural.	16
3.2 Caracterización del Gas Producido	17
4. Generación de Energía Eléctrica	19
5. Análisis del aprovechamiento del gas de producción	25
5.1 Turbinas a Gas.....	26
5.2 Motores de Combustión Interna.....	27
5.3 Medición de Energía Eléctrica	28
5.4 Componentes del Sistema de Medición de Energía Eléctrica.....	28
5.5 Clasificación de Puntos de Medición	29
6. Descripción Proceso Actual de Autogeneración de Energía	32
6.1 Diagrama de Proceso del Gas.....	35
6.2 Bases de Diseño	39
6.3 Parámetros Eléctricos y de Generación.....	43
6.4 Eficiencia.....	45
6.5 Prohibición de Desperdicio y Quema de Gas.....	46
6.6 Niveles de Ruido en Centros de Generación de Energía Eléctrica	46

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

7. Cuantificación de la energía eléctrica producida a partir del uso del gas	49
7.1. Análisis de los Costos y la Energía Generada en Campo	49
8. Conclusiones	57
9. Recomendaciones	58
Referencias Bibliográficas	59
Anexo A	63
A.1 Tipos de Separadores.....	64
A.2. Separadores Horizontales	65
A.3. Deshidratación del Gas.....	65
A.3.1. Método de Absorción por Glicol	66
A.3.2. Método de Adsorción en Agente Sólido.....	67
A.3.3. Método de Enfriamiento de Gas	68
A.3.4. Escenario en el Campo de Estudio	69

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Composición general del gas natural.</i>	14
Tabla 2. <i>Cromatografía actual del campo</i>	17
Tabla 3. <i>Principales Elementos en un sistema de Generación</i>	19
Tabla 4. <i>Potencia de Generación de Energía Eléctrica</i>	24
Tabla 5. <i>Clasificación de puntos de medición</i>	29
Tabla 6. <i>Comparación entre tecnologías</i>	30
Tabla 7. <i>Cromatografía actual del campo</i>	41
Tabla 8. <i>Especificaciones de calidad del gas para uso industrial</i>	42
Tabla 9. <i>Estándares máximos de niveles de emisión de ruido en dB(A)</i>	47
Tabla 10. <i>Costo de KW por las fuentes de energía disponibles en el campo</i>	50
Tabla 11. <i>KW generados por cada generador</i>	51
Tabla 12. <i>Cantidad de gas promedio disponible en el campo</i>	52
Tabla 13. <i>Cantidad de gas requerido para cada generador</i>	52
Tabla 14. <i>Costo de KW por las fuentes de autogeneración disponibles en el campo</i>	53
Tabla 15. <i>KW empleados por fuente de generación en caso de estudio</i>	54
Tabla 16. <i>Comparación de costos incurridos contra los que representaría ser suplidos por el SIN</i>	56

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Localización</i>	13
Figura 2. <i>Campo petrolero cuenca sedimentaria Caguán-Putumayo</i>	13
Figura 3. <i>Mapa conceptual de las centrales de generación de energía.</i>	21
Figura 4. <i>Diagrama de etapas en un proceso de generación de energía eléctrica a gas.</i>	22
Figura 5. <i>Sistema de Generación Eléctrica con Gas Natural</i>	23
Figura 6. <i>Diagrama Unifilar Campo Petrolero Cuenta Caguán-Putumayo</i>	30
Figura 7. <i>Proceso de gas en el campo actualmente</i>	34
Figura 8. <i>Sección 1 procesamiento del gas</i>	37
Figura 9. <i>Sección 2 Llegada del gas hacia sistema de auto generación de energía</i>	37
Figura 10. <i>Sección 3 Llegada del gas hacia MRU para separar pesados y usar GLP como combustible en la turbina.</i>	38
Figura 11. <i>Cantidad de gas requerido para la generación de electricidad en un generador de gas</i>	50
Figura 12. <i>Porcentaje de participación de los tipos de fuentes en a) costos de generación y b) cantidad generada</i>	55
Figura A1. <i>Tipos de separadores mecánicos</i>	63
Figura A2. <i>Clasificación general de los separadores.</i>	64
Figura A3. <i>Separador Horizontal Trifásico.</i>	65
Figura A4. <i>Esquema de una facilidad de deshidratación de gas mediante absorción.</i>	67
Figura A5. <i>Esquema de una facilidad de deshidratación de gas mediante adsorción.</i>	68
Figura A6. <i>Esquema de una facilidad de deshidratación de gas mediante enfriamiento.</i>	69

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Resumen

Título: Análisis del Sistema de Autogeneración de Energía para el Funcionamiento en un Campo Petrolero de la Cuenca Sedimentaria Caguán-Putumayo*

Autor: Juan Carlos Martínez Aguas**

Palabras Claves: Auto-Generación de Energía, Gas Natural, Combustible, Deshidratación, MMSCFD.

Descripción:

El presente trabajo de monografía se elabora con base en el funcionamiento del sistema de autogeneración de energía eléctrica para el autoabastecimiento energético de un campo petrolero, utilizando como combustible el recurso del gas asociado a la producción de petróleo. De esta manera se evita la quema en TEA del mismo y se da su mayor aprovechamiento económico utilizándolo como energía primaria en sistemas de autogeneración de energía, además de disminuir los problemas ambientales.

En el campo petrolero de la cuenca sedimentaria, CAGUAN-PUTUMAYO se producen alrededor de 2.5 MMSCFD de gas natural asociado a la producción de petróleo que es de un promedio de 7500 BOPD; siempre se procurará utilizar al máximo este flujo de gas en la generación de energía eléctrica para evitar quemar excedentes de gas.

Con este trabajo de grado, lo que se espera es disponer de una base técnica para la utilización de la producción de gas asociado a la producción de petróleo que se tiene dentro de la explotación de campos petroleros con el fin de darle aprovechamiento a este recurso evitando la quema de gas.

El aprovechamiento de este gas tiene las ventajas de disminuir la contaminación ambiental, por un lado, y por otro generar ahorros energéticos autoabasteciendo el consumo de energía del campo que de otra manera tendría que generarse mediante grupos electrógenos con motor diésel o tomando de la red del Sistema Interconectado Nacional (SIN), cuando esto es posible.

De todas maneras, siempre que sea posible es conveniente estar conectado al SIN con el fin de lograr la mejor confiabilidad operativa.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Especialización en Ingeniería del Gas.
Director: Álvaro Ruiz Rodríguez, Magíster en Administración de Empresas

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Abstract

Title: Analysis of the Self-Generated Energy System for Operation in an Oil Field of the Caguan-Putumayo Sedimentary Basin *

Author: Juan Carlos Martínez Aguas **

Keywords: Natural Gas, MMSCFD, Power Generation, Fuel, Dehydration

Description:

The present monograph work is elaborated based on the operation of the electric power self-generation system for the energy self-supply of an oil field, using the gas resource associated with oil production as fuel. In this way, the burning of the same in TEA is avoided and its greatest economic use is given by using it as primary energy in self-generation energy systems, in addition to reducing environmental problems.

In the sedimentary basin oil field, CAGUAN-PUTUMAYO, around 2.5 MMSCFD of natural gas associated with oil production is produced, which is an average of 7,500 BOPD; Efforts will always be made to use this gas flow to the maximum in the generation of electricity to avoid burning excess gas.

With this degree work, what is expected is to have a technical basis for the use of the production of gas associated with the production of oil that is within the exploitation of oil fields in order to make use of this resource avoiding the burning of gas

The use of this gas has the advantages of reducing environmental pollution, on the one hand, and on the other, generating energy savings by self-sufficient energy consumption in the countryside that would otherwise have to be generated by diesel-powered generator sets or taken from the National Interconnected System (SIN), when this is possible.

* Degree work

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Petroleum Engineering. Gas Engineering Specialization.
Director: Álvaro Ruiz Rodríguez, Master of Business Administration

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Introducción

En la presente monografía inicialmente se hará una descripción del proceso de obtención del gas natural asociado a la producción de producción de petróleo.

La corriente de fluido que viene del pozo normalmente corresponde a una mezcla de petróleo y gas por lo que es necesario hacer pasar dicha corriente por un separador trifásico que permita separar los líquidos del gas.

Se denomina trifásico por cuanto la corriente líquida puede a su vez venir mezcla de crudo y agua. La tercera corriente es el gas asociado.

Las corrientes de líquidos salen por la boquilla correspondiente del cuerpo del separador y corresponden al petróleo, las cuales van al manifold correspondiente de líquidos que entregarán a las líneas de flujo que van a los tanques de almacenamiento de la batería.

Por su parte la corriente de gas sale por la parte superior del separador e igualmente van al manifold de gas que conduce el gas a TEA.

Para el aprovechamiento de esta corriente de gas es necesario hacer una caracterización de la misma. Esta caracterización está relacionada con la medición volumétrica, así como la composición del gas (cromatografía) y la humedad (contenido de agua en el gas).

Esta caracterización es esencial de realizar para tener la información necesaria para asegurar que la calidad del gas corresponda a las mínimas condiciones admisibles de aplicación para consumo de los motores de combustión interna de los grupos electrógenos.

En caso de que los resultados de la cromatografía y la medición del contenido de humedad del gas excedan las especificaciones técnicas requeridas en los motores, sería necesario

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

realizar el tratamiento correspondiente, para acondicionar la corriente de gas al requerimiento del combustible de los motores.

Estrictamente la principal exigencia del gas combustible es que se encuentre libre de líquidos y los contenidos de agua en forma de vapor superior a lo establecido como gas de ventas, deberán tratarse para su adecuación. Sin embargo, en el mercado existen motores de combustión interna diseñados para utilizar gas con humedad superior a lo establecido como gas de ventas (97 mg/m³).

De ser necesario se requeriría realizar un proceso de deshidratación del gas para llevar la corriente de gas dentro de las condiciones de diseño del motor y asegurar así el adecuado funcionamiento del mismo.

El proceso del tratamiento que se implemente al gas, normalmente genera condensados de hidrocarburos pesados que también pueden ser aprovechados mezclándolos conjuntamente con la corriente de hidrocarburos líquidos, o, como en este caso, como combustible glp.

La utilización de la corriente de gas en los diferentes grupos electrógenos que servirán para el autoabastecimiento de energía que se consume en el campo, permitirá, por un lado, disminuir al máximo la quema de gas en TEA, reduciendo los impactos negativos ambientales y por otro lado hay un aprovechamiento económico al disminuir la factura de la energía en la operación del campo.

Adicionalmente, las nuevas políticas de la Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH, la CREG en regulación de las actividades minero-energéticas y la aplicación de la normatividad ISO 14001 para el cuidado del medio ambiente exigen nuevos controles al uso del gas como recurso energético.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Analizar el Sistema de Autogeneración de Energía por medio del gas asociado a la producción de petróleo, en un campo petrolero ubicado en la cuenca sedimentaria Caguan- Putumayo de Colombia.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar el potencial uso del gas asociado a la producción de petróleo en el sistema de autogeneración en el campo de estudio, a partir de la revisión de casos de éxito y de consultas a expertos.

Analizar las cromatografías disponibles para determinar la calidad del gas que llega desde los pozos hacia las facilidades de superficie, con el fin de revisar eventuales aplicaciones adicionales a la autogeneración de energía, optimización su aplicación.

Analizar las diferentes tecnologías existentes para el aprovechamiento del gas asociado a la producción petróleo en un sistema de autogeneración eléctrica y proponer la tecnología más adecuada y conveniente para aplicar en la autogeneración de la energía requerida en el campo de estudio.

Cuantificar la energía eléctrica producida en el sistema de autogeneración propuesto y su rentabilidad en el campo de estudio.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

2. Generalidades del Campo

En este primer capítulo se describe la localización, marco geológico, historia de producción de hidrocarburos que posee el Campo A, ubicado en la Cuenca del Putumayo.

2.1 Historia del Campo

Los inicios de producción del campo fueron con la compañía Argosy en el año de 1990, perforando los 3 pozos para la evaluación de las formaciones Caballos y T-Sand. A raíz de los buenos resultados se decidió realizar perforación de más pozos debido a su buen aporte de petróleo crudo y la expansión del campo para tener facilidades de superficie.

Actualmente el campo cuenta con aproximadamente 320,20 km de sísmica 2D realizado por las compañías operadoras de este campo y 102 pozos perforados hasta diciembre del 2022.

También hoy en día el campo dispone de una producción de 7500 BOPD y una producción de gas asociado de 2.5MMSCFD.

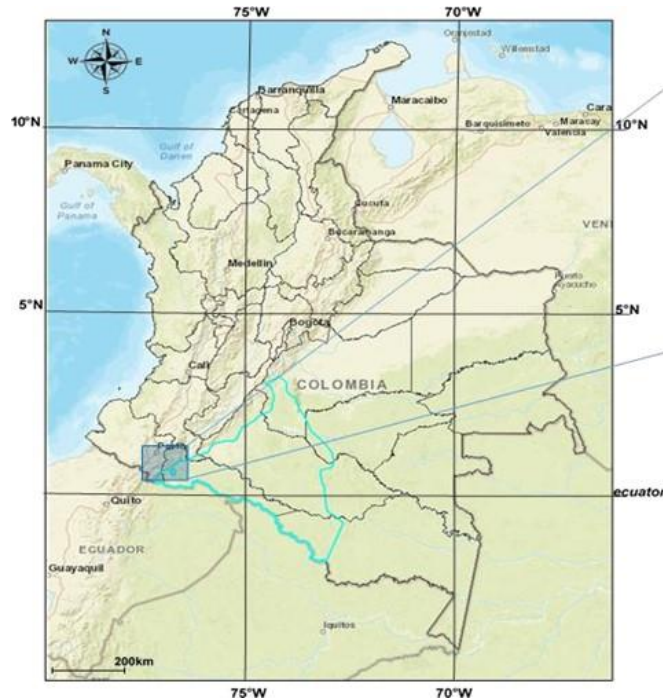
Por otra parte, los consumos de energía están relacionados con los sistemas de Bombeo Electro-sumergible y Bombeo Hidráulico. Adicionalmente se tiene pozos inyectoros que actúan como técnica de recobro para la recuperación de crudo y también para disminuir los altos niveles de agua debido al alto corte de agua que se tiene en algunos pozos. La demanda energética de todo el campo incluyendo pozos facilidades de superficie, es decir, todo el Centro de Procesamiento de Fluidos (CPF) es de 12000 KW/hora

2.2 Localización

El área de estudio se localiza en el extremo sur-occidental de Colombia, en el Departamento del Putumayo (Figura 1) y a su vez imagen aérea del campo petrolero donde se está llevando a cabo proceso de auto-generación de energía eléctrica (Figura 2)

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Figura 1. Localización



Nota: elaboración propia con base en SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIA. Banco de información Petrolera, 2019. Disponible en internet http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/GEOVISOR_BIP

Figura 2. Campo petrolero cuenca sedimentaria Caguán-Putumayo



Nota: Imagen aérea campo petrolero cuenca sedimentaria Caguán-Putumayo (facilidades de superficie) suministrada por personal de la compañía.

3. Generalidades del Gas

El gas natural es una mezcla de componentes gaseosos siendo el principal elemento el metano (CH_4); es el combustible fósil menos contaminante y con el mayor rendimiento energético entre todas las fuentes combustibles existentes en la actualidad. Su estructura molecular simple facilita que se utilice limpiamente a pesar de que en el gas natural existen pequeñas cantidades variables de otros gases no hidrocarburos, como dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico), nitrógeno, helio, vapor de agua, etc.

El gas natural puede obtenerse como tal en yacimientos de gas libre o asociado en yacimientos de petróleo y de condensado (porciones volátiles de petróleo).

Composición del Gas Natural. Dependiendo el reservorio del cual es extraído el gas natural, esta composición puede tener pequeñas variaciones, es decir, su composición nunca es constante. Los componentes característicos del gas natural están considerados en rangos de acuerdo con los valores caloríficos promedio de todos los componentes, tomados como una mezcla.

Tabla 1. *Composición general del gas natural.*

Componente	Formula	Análisis (mol%)	Rango Mol (%)
Metano	CH_4	95,0	87-97
Etano	C_2H_6	3,20	1,5-7
Propano	C_3H_8	0,20	0,1-1,5
Isobutano	C_4H_{10}	0,03	0,01-0,3
Normal Butano	C_4H_{10}	0,03	0,01-0,3
Isopentano	C_5H_{12}	0,01	trazas hasta 0,04
Normal Pentano	C_5H_{12}	0,01	trazas hasta 0,04

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Hexano +	C ₆ +	0,01	trazas hasta 0,06
----------	------------------	------	-------------------

Componente	Formula	Análisis (mol%)	Rango Mol (%)
Nitrógeno	N ₂	1,00	0,2-5,5
Dióxido de carbono	CO ₂	0,50	0,1-1,0
Oxígeno	O ₂	0,02	0,01-0,1
Hidrógeno	H ₂	trazas	trazas hasta 0,02
Gravedad especifica	-	0,58	0,57-0,62
Poder Calorífico (MJ/m ³)	-	38,0	36-40,2

Nota: VISWANATHAN, B. Energy Sources: Fundamental of Chemical Conversion Processes and Applications.

En general, el gas natural puede clasificarse como:

Gas Dulce: Es aquel que contiene cantidades de sulfuro de hidrógeno (H₂S), menores a 4 ppm,v. La GPSA define un gas apto para ser transportado por tuberías como aquel que contiene menos de 4 ppm,v de H₂S; menos del 3.0% de CO₂, y 6 a 7 libras de agua por millón de pies cúbicos (equivalente a 97 mg/m³) en condiciones normales (pcn).

Gas Agrio o Ácido: Es aquel que contiene cantidades de sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono (CO₂) en porcentajes superiores a los establecidos en la normatividad que son 4 ppm y

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

3% respectivamente; otros componentes ácidos (COS, CS₂, mercaptanos, etc.) razón por la cual se vuelve corrosivo en presencia de agua libre.

Gas rico (húmedo): Es aquel del cual se puede obtener cantidades apreciables de hidrocarburos pesados C₃+ de, aproximadamente, 3,0 GPM (galones por 1.000 pies cúbicos en condiciones normales). No tiene ninguna relación con el contenido de vapor de agua que pueda contener el gas.

Gas pobre (seco): Es un gas que prácticamente está formado por metano (C₁) y etano (C₂). Sin embargo, en sistemas de compresión de gas, se habla de gas húmedo, en inglés "Wet gas", al que contiene vapor de agua y "gas seco" (inglés "dry gas"), al que no contiene vapor de agua. En el gas seco la composición típica en volumen es: Metano 94,0%, Etano 4,7%, Propano 0,8%, Butano 0,2%, Nitrógeno 0,3%. Densidad líquida 0,45kg/dm³, poder calorífico (bajo) 49,5MJ/kg, número de metano 83.

3.1. Propiedades y Comportamiento del Gas Natural.

En la forma más simple; un gas puede considerarse que está formado por partículas sin volumen y entre las cuales no existen fuerzas de atracción o repulsión. Es un fluido homogéneo, generalmente de baja densidad y viscosidad, sin volumen definido y ocupa cualquier espacio en el cual se coloca. Los gases que se ajustan a esta definición, se denominan gases perfectos o ideales.

El concepto anterior de gas, generalmente se cumple en condiciones de baja presión y temperatura, pero gradualmente el gas se aparta de esta definición y el comportamiento teórico se aleja del observado. A la medida que aumenta la presión y la temperatura debe incluirse el volumen de las moléculas y las fuerzas de atracción o repulsión entre ellas. A los que cumplen con esta definición se les denominan gases reales.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

3.2 Caracterización del Gas Producido

Antes de emplear el gas como combustible para la autogeneración, este debe cumplir con rangos de variables y condiciones específicas, para así poder ser utilizado por tecnologías capaces de aprovecharlo. En casos específicos de gas asociado que se encuentran en la actualidad, se determinan factores como la de calidad y humedad del gas, para luego llegar a ser entregado a las máquinas generadoras.

Los datos obtenidos con la composición molar del gas muestran el porcentaje de participación de cada uno de sus compuestos, en el cual se midió la corriente de gas para determinar su composición y fracciones molares respectivamente:

Tabla 2. *Cromatografía actual del campo*

Componente	Unidad	Salida Separador
Metano	% Molar	31,14
Etano	% Molar	11,418
Propano	% Molar	12,895
i-Butano	% Molar	2,439
n-Butano	% Molar	7,005
neo-Pentano	% Molar	0,00
i-Pentano	% Molar	2,441
n-Pentano	% Molar	2,754
n-Hexano	% Molar	0,717
n-Heptano	% Molar	0,109
n-Octano	% Molar	0,431
n-Nonano	% Molar	0,318
n-Decano	% Molar	0,029
n-Undecano	% Molar	0,00
n-Dodecano(+)	% Molar	0,00

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Componente	Unidad	Salida Separador
CO2	% Molar	3,434
Nitrógeno	% Molar	20,314
Oxigeno	% Molar	4,552

4. Generación de Energía Eléctrica

La generación de energía eléctrica se divide en varias etapas, el primer escalón del sistema de suministro eléctrico se realiza en las centrales eléctricas, estas se encargan de transformar las fuentes de energía a energía eléctrica y así poderla transportarla a los centros de consumo.

En general, la generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía (química, cinética, térmica o lumínica, entre otras), en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas.

Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico. La generación eléctrica se realiza, básicamente, mediante un generador; si bien estos no difieren entre sí en cuanto a su principio de funcionamiento, varían en función a la forma en que se accionan. Explicado de otro modo, difiere en qué fuente de energía primaria utiliza para convertir la energía contenida en ella, en energía eléctrica.

Teniendo en cuenta que la generación de energía en campos petroleros se obtiene mediante centrales térmicas, (en este caso el gas residual asociado a la producción petróleo) y con una configuración de planta específica, entre equipos principales y auxiliares, se genera energía eléctrica.

Tabla 3. *Principales Elementos en un sistema de Generación*

Principales Elementos en un Sistema de Generación

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

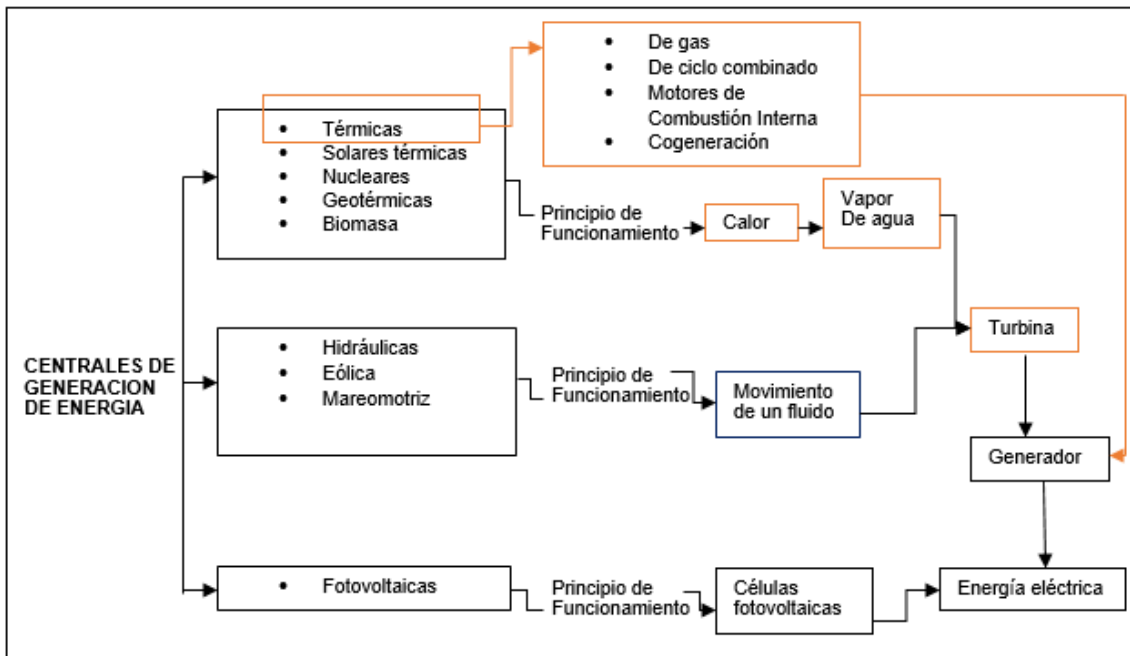
Principales Elementos en un Sistema de Generación	
Fuente de Energía	Gas Natural Petróleo Carbón Biomasa, otros
Motor Primario	Turbinas industriales a gas Microturbinas Motores de combustión interna
Sistema de Aprovechamiento de la Energía Mecánica	Compresores Bombas Generadores eléctricos

Dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada, las centrales generadoras se clasifican en químicas cuando se utilizan plantas de radioactividad, que generan energía eléctrica con el contacto de esta, termoeléctricas (de carbón, petróleo, gas, nucleares y solares termoeléctricas), hidroeléctricas (aprovechando las corrientes de los ríos o del mar: mareomotrices), eólicas y solares fotovoltaicos.

La mayor parte de la energía eléctrica generada a nivel mundial proviene de los dos primeros tipos de centrales reseñados. Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen en común el elemento generador, constituido por un alternador de corriente, movido mediante una turbina que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

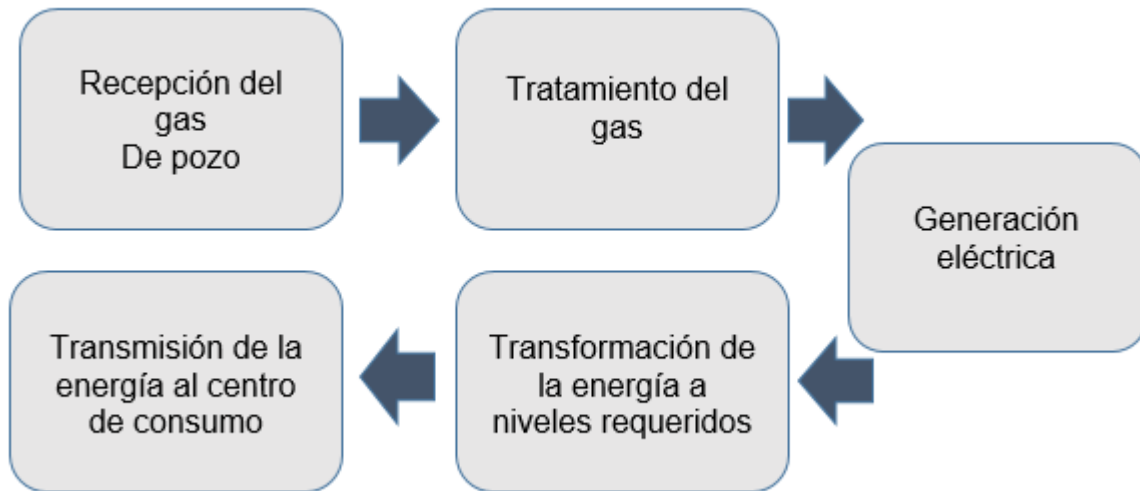
Figura 3. Mapa conceptual de las centrales de generación de energía.



El gas natural se ha constituido en un combustible atractivo para la generación de electricidad con alto rendimiento en toda una serie de aplicaciones, ofrece las mejores oportunidades en términos de economía, aumento de rendimiento y reducción del impacto ambiental. Estas ventajas pueden conseguirse tanto en grandes centrales como en pequeñas centrales y unidades de cogeneración termoeléctrica, en la figura 4 se presenta diagrama de etapas en un proceso de generación de energía eléctrica a gas.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Figura 4. Diagrama de etapas en un proceso de generación de energía eléctrica a gas.



Son razones para el renovado interés en el uso del gas natural para generación de electricidad:

- El desarrollo de ciclos combinados a gas con turbina de gas (CCGT),
- El considerablemente menor impacto ambiental que aporta la generación eléctrica con gas que con otros combustibles líquidos,
- La disponibilidad a largo plazo de grandes y crecientes reservas de gas,
- Las centrales CCGT pueden ser construidas con relativa rapidez y con costos de inversión relativamente bajos.

Es relativamente versátil en cuanto a la posibilidad de reubicar la Central térmica a gas en sitios donde exista infraestructura de transporte de gas y estén las mayores demandas de energía. Con esto se disminuyen las pérdidas por transporte de energía.

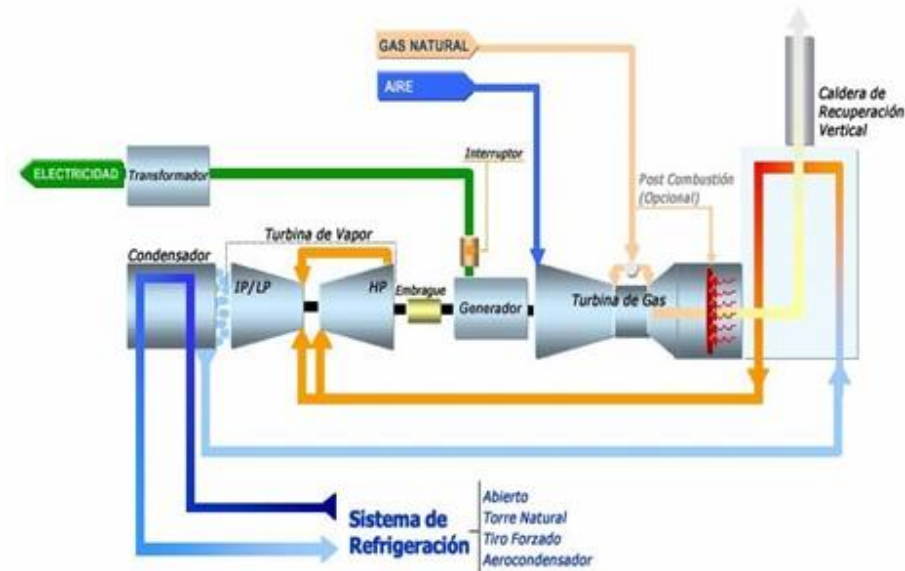
Sin embargo, la decisión de hacer uso de este gas en el proceso de generación, dependerá de la calidad y volúmenes que se tenga disponibles de esta. Así pues, para determinar la calidad y poder clasificar dicho gas, de acuerdo a sus características es necesario conocer la composición

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

química del mismo, proceso que se logra determinar mediante el estudio cromatográfico del mismo.

En la figura 5 se muestra un esquema sobre la configuración central de la generación eléctrica con gas natural.

Figura 5. Sistema de Generación Eléctrica con Gas Natural



Nota: Benítez, José Antonio, Generación y cogeneración, conceptos técnicos y económicos, Escuela de Ingeniería de Petróleos. UIS. Bucaramanga: septiembre de 1999.

Se escoge el gas natural como combustible para los sistemas de cogeneración por las siguientes razones:

- El gas natural es un combustible ambientalmente amigable por la reducción de emisiones comparados con otros combustibles usados
- El avanzado desarrollo de las turbinas de gas natural ha permitido alcanzar rendimientos de energía de entre el 15 y el 40%. La investigación y desarrollo de nuevas tecnologías está abriendo continuamente nuevas fronteras con rendimientos todavía mayores y por consiguiente menos contaminación.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

En el campo que estamos trabajando la generación de energía eléctrica que se genera por medio del gas asociado a la producción de petróleo se da en 2 partes: 12 generadores con motores de combustión a gas de los cuales 8 trabajan en carga base y 3 en carga repartida; adicionalmente existe uno el cual se encuentra en stand-by que se utiliza cuando se programan mantenimientos y/o falla en uno de los otros que se encuentran en servicio.

Complementariamente el sistema de generación de energía cuenta con una turbina que trabaja con líquidos condensados (GLP) que se producen en el proceso de deshidratación del gas. Los 11 generadores en funcionamiento generan una capacidad promedio de 8900 KW/hora operando los 11 en simultaneo; la turbina que trabaja a GLP genera 3000 KW/hora.

En la siguiente tabla se muestra la potencia de generación de energía en el campo por medio de los generadores a Gas y Turbina (GLP)

Tabla 4. *Potencia de Generación de Energía Eléctrica*

Equipo	Potencia Kw	Porcentaje (%)	Combustible
8 Generadores con motores a Gas Carga Base	7300	61,35	GAS
3 Generadores con motores a Gas Carga Repartida	1600	13,44	GAS
1 Turbina	3000	25,21	GLP

5. Análisis del aprovechamiento del gas de producción

Ayuso (2017) expone que la quema del gas en los campos se debe principalmente por cinco factores principales los cuales son volumen producido, calidad del gas, transporte y distribución, localización de las facilidades, y comercialización, estructura y desarrollo de los mercados. Esto ha generado que se consideren diferentes métodos que permitan el aprovechamiento del gas de producción haciendo que este no termine en la tea y sea quemado. Entre las alternativas, se logran destacar cuatro que son la reinyección para almacenamiento mientras se emplea en un futuro, la reinyección en yacimientos para recobro mejorado de hidrocarburos, el uso en sitio para la autogeneración de energía y el transporte a centros de consumo con tecnología de transporte requerida para su movilización a sitios de demanda. Esta investigación se centrará en analizar el aprovechamiento del gas a través de su uso para la autogeneración de energía en el campo.

Las tecnologías para generación eléctrica en el mercado son variadas y su escogencia dependerá de las condiciones del lugar de generación, la calidad y cantidad de combustible disponible y los requerimientos específicos del proyecto de autogeneración para la estación.

Los grupos electrógenos básicamente están formados por un conjunto integrado que contiene un motor térmico primario, que podría ser una turbina de gas o un motor de combustión interna; Un generador eléctrico (generalmente de corriente alterna) acoplado al mismo eje del motor primario; y los correspondientes elementos auxiliares y sistemas complementarios, como los distintos indicadores de estado, tableros de maniobra, tanques, radiadores, circuitos de lubricación, combustible, agua y eventualmente aire comprimido, etc.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

5.1 Turbinas a Gas

Las características de una turbina de combustión a gas, comprende un proceso de sistema principal de compresión y otro de adición de calor o combustión. Así pues, los elementos fundamentales que constituyen una turbina de combustión a gas son: el compresor, la cámara de combustión y la turbina propiamente dicha.

En cuanto a su funcionamiento, el aire es aspirado de la atmósfera y comprimido para después pasar a la cámara de combustión, donde se mezcla con el combustible y se produce la ignición; los gases calientes, producto de la combustión, fluyen a través de la turbina, donde se expansionan moviendo el eje que acciona el compresor de la turbina y la carga, frecuentemente un generador eléctrico.

Fácil de instalar y trasladar:

- El diseño es transportable por carretera
- Diseño modular para el arreglo y la conexión rápida
- Ninguna base concreta requerida
- Diseño compacto para reducir espacio
- Certificado CSA (Acuerdo de Apoyo al Cliente)

Ambientalmente amistoso

- Las emisiones bajas, Utilizando sistema de Combustión de SOLONOX
- Ningunas emisiones Visibles
- El paquete insonorizado para operación silenciosa
- Fácil de permitir movilización e instalación

Operatividad

- Opciones cortas y a largo plazo de renta disponibles

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

- 5.2 MW de producción, @ 12.47 o 13.8 Kilovoltios, 60 Hertz
- 4.9MW, 11kV, 60 Hertz disponible

Solución de sistemas completo

- Arreglo y comisionamiento
- El mantenimiento es incluido
- Operadores disponibles
- Preparación de sitio
- Transformadores

Características operacionales

- Despachable para ser en línea en seis minutos (del comienzo frío)
- Controle las Opciones de Sistema para la Operación Remota
- Switchgear de grado de utilidad con módulo protector programable
- El Control de KVAR para la capacidad reactiva excelente del poder

5.2 Motores de Combustión Interna

Un motor de combustión interna basa su funcionamiento, como su nombre lo indica, en la combustión de una mezcla de aire y combustible dentro de una cámara cerrada o cilindro, con el fin de incrementar la presión y generar con suficiente potencia el movimiento lineal alternativo del pistón.

El rendimiento obtenido por los motores de combustión interna es más alto que el obtenido con las turbinas de gas.

Este rendimiento está directamente relacionado con la relación de compresión, es por esto que al momento de diseñar los motores se busca alcanzar el mayor nivel de compresión. Sin embargo, una alta compresión genera que se den las condiciones de pre ignición o ignición

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

espontánea del gas debido a las altas presiones. Esto genera que se tenga una pérdida de eficiencia y capacidad de generación de potencia, incurriendo en un aumento de los costos de mantenimiento y las frecuencias con que se deben realizar. Es por esto que, aunque los motores presentan un mayor nivel de eficiencia en la generación de potencia, los costos y mantenimiento en que se incurren son mayores a los de las turbinas.

5.3 Medición de Energía Eléctrica

Los sistemas de medición de energía eléctrica de los centros de generación cumplen con lo establecido en el Código de Medida, el cual hace parte de la Resolución CREG 025 de 1995, modificada con la Resolución CREG 038 de 2014.

5.4 Componentes del Sistema de Medición de Energía Eléctrica

Los sistemas de medición de energía eléctrica instalados en cada centro de generación cumplen lo determinado por el Anexo 1 la Resolución 038 de 2014 (Componentes del Sistema de Medición).

Para cada centro de generación el sistema de medición está compuesto por:

- Transformadores de medida de tensión
- Transformadores de medida de corriente
- Bloques o borneras de pruebas
- Medidor de energía activa y reactiva
- Medidor de energía activa y reactiva de respaldo
- Sistema de comunicación para lectura remota
- Un panel o caja de seguridad para el medidor y el registro de datos.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

5.5 Clasificación de Puntos de Medición

La Resolución CREG 038 de 2014, en el Artículo 6, hace una clasificación en la que se definen los “Tipos de Puntos de Medición” de acuerdo con el consumo o transferencia de energía por la frontera o por la capacidad instalada en el punto de conexión, según lo mostrado en la Tabla.

Tipo de puntos de Medición	Consumo o transferencia de energía, C, [MWh-mes]	Capacidad Instalada, CI, [MVA]
1	$C \geq 15.000$	$CI \geq 30$
2	$15.000 > C \geq 500$	$30 > CI \geq 1$
3	$500 > C \geq 50$	$1 > CI \geq 0,1$
4	$50 > C \geq 5$	$0,1 > CI \geq 0,01$
5	$C < 5$	$CI < 0,01$

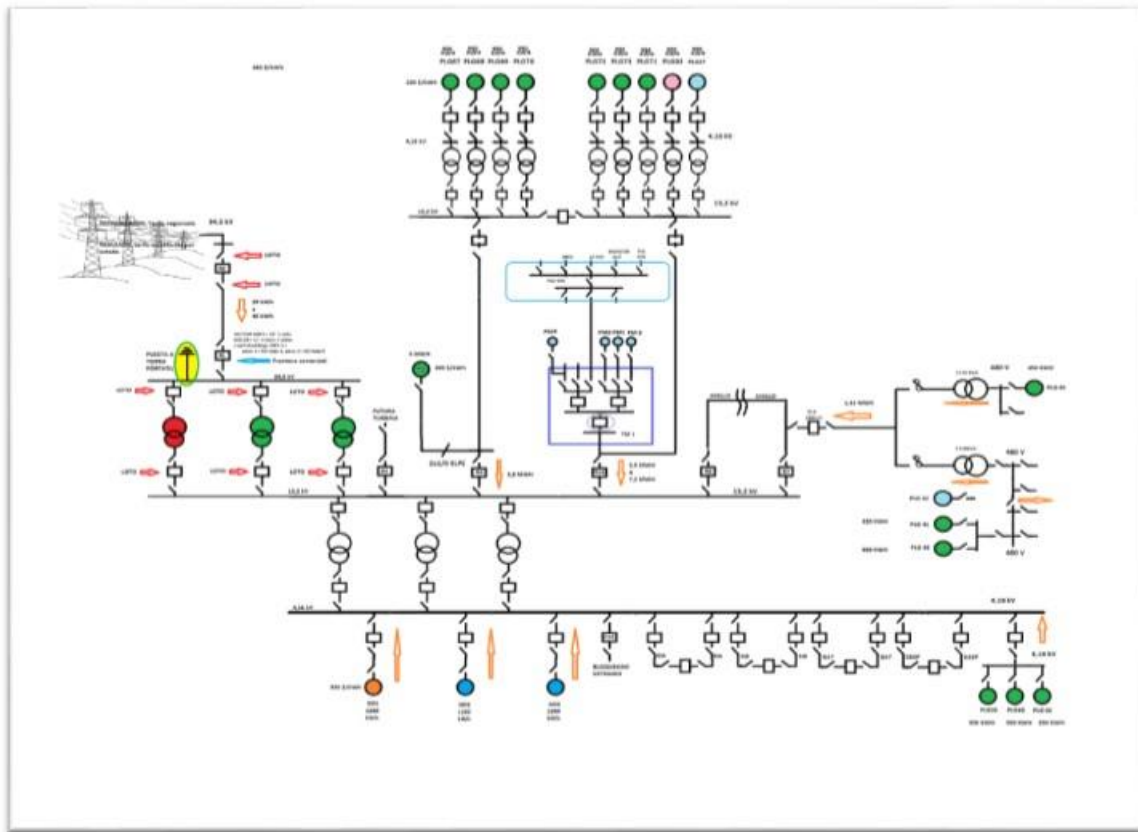
Tabla 5. *Clasificación de puntos de medición*

Nota: Resolución CREG 038 de 2014

Actualmente el sistema de distribución de energía del campo se encuentra repartida de la siguiente forma:

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Figura 6. Diagrama Unifilar Campo Petrolero Cuenta Caguán-Putumayo



Turbina de gas		Motor a combustión	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Disponibilidad del combustible en el campo	Requiere un flujo mínimo desde el pozo para garantizar funcionamiento	No depende de un flujo obtenido de la producción del campo	Requiere transportar el combustible hasta el campo

Tabla 6. Comparación entre tecnologías

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

La tecnología seleccionada acorde al análisis realizado es la de Turbina de gas, debido a que permite aprovechar el gas mientras se obtiene energía en el proceso, y no requiere de la compra de un combustible adicional ya que se usa la producción obtenida en los pozos.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

6. Descripción Proceso Actual de Autogeneración de Energía

A continuación, se realiza descripción del proceso de tratamiento del gas asociado a la producción de petróleo, como suministro de combustible el cual será el alimento a los generadores en el sistema autogeneración de energía.

Este proceso comienza desde la entrada del gas asociado a la producción proveniente de los pozos productores y llega hacia las facilidades de superficie.

Para poder asegurar la calidad del gas este será sometido, de acuerdo a su composición un proceso de tratamiento que contemple los sub-procesos para el caso particular del campo donde estamos trabajando en la monografía; el método de tratamiento que empleamos es la deshidratación y extracción de condensados que sirven de alimento para la turbina a GLP.

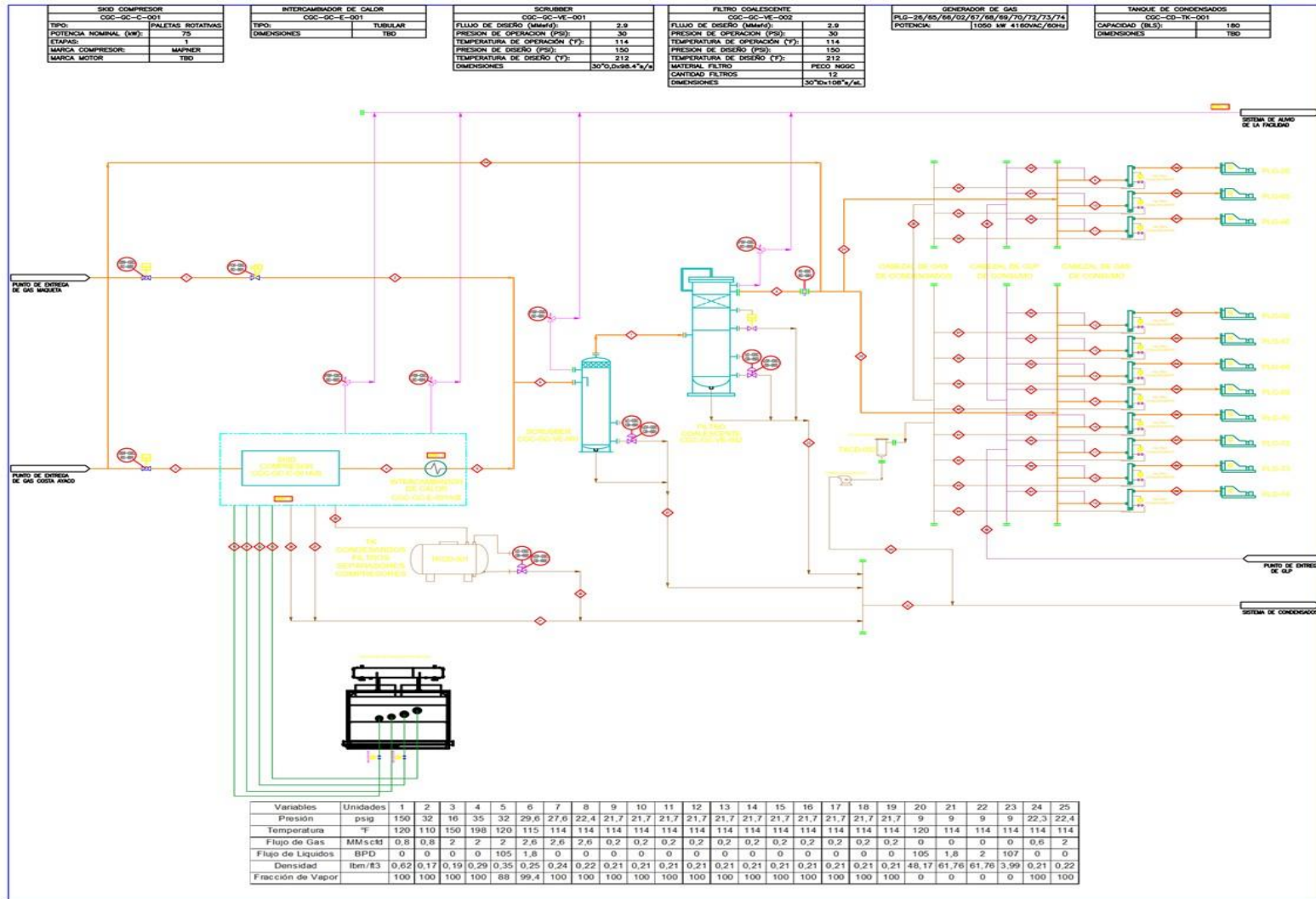
Desde la línea de descarga de los separadores de 6", el gas, de acuerdo a su cromatografía, entra a condiciones de operación: Temperatura Operación = 187°F, Flujo total = 2.1 MMSCFD, cabe mencionar que parte del gas proveniente de las botas de gas de los gun barrel ingresa a la VRU (unidad recuperadora de vapores) y se une al gas de salida de los separadores para que sirvan de alimento en los motores a gas para generación de energía eléctrica.

El gas, antes de ingresar al scrubber V-1001, recibe tratamiento de deshidratación por medio de la VRU (unidad recuperadora de vapores), el cual enfría el gas hasta una Temperatura = 107°F y una Presión entre 32 – 28 psi. Posteriormente el gas entra al separador de la URC donde el gas que se obtiene toma dos rumbos: uno como gas seco para el sistema de generadores y el excedente se va como alimento para la MRU (unidad recuperación mecánica) que genera GLP y es el alimento de la turbina.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

El gas de alimento se va para los 11 motores a gas que se tienen actualmente en el campo para la generación de energía eléctrica carga básica. En la figura 7 se observa el proceso de gas en el campo actualmente.

Figura 7. Proceso de gas en el campo actualmente



Nota: Diagrama Unifilar, proporcionado por empresa proveedora de servicios de generación de energía eléctrica a gas

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

6.1 Diagrama de Proceso del Gas

Con el gas en las condiciones requeridas, se continuará el proceso ingresándolo al motor térmico primario, el cual va acoplado al eje de rotación y de cuyo aprovechamiento de la energía mecánica producida por este, se obtendrá la energía eléctrica. Por último, la energía será transportada a través del sistema de transmisión de energía, para poder contar con dicha energía en el centro de consumo establecido y así poder hacer uso de la misma. En caso de paradas de la planta, o bajos consumos de la misma, el excedente del gas será enviado al sistema de venteo a tea, para evitar fluctuaciones en el flujo. Teniendo esto en cuenta, existe gran potencial en la generación de energía ya que con el sistema actual que se tiene el campo no requiere de la utilización de generadores a Diesel que generan un gran impacto económico y tampoco depender del S.I.N (sistema de interconectado nacional) ya que por la ubicación geográfica del campo es bastante inestable y por ende solo se tiene como respaldo para no depender de esta, cabe anotar que en pocas oportunidades se queman gases en la TEA ya que el sistema que se tiene logra evitar al máximo la quema de gases que a su vez por regulaciones ambientales en lo mínimo se debe quemar, y por el contrario, usar este gas al máximo para procesos de generación de energía.

Por tal motivo, para poder cumplir con el proceso de generación de energía eléctrica, los siguientes son los principales sistemas que debe contar la planta de generación:

- Sistema para el suministro de gas, correspondiente a las líneas para transporte y recibo de gas.
- Sistema de tratamiento del gas, como lo son aquellos equipos para realizar la deshidratación, el procesamiento y compresión del gas.
- Sistema de recolección y almacenamiento de los condensados producto del tratamiento del gas.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

- Sistema de aprovechamiento de la energía, como lo son las unidades de generación de energía eléctrica.

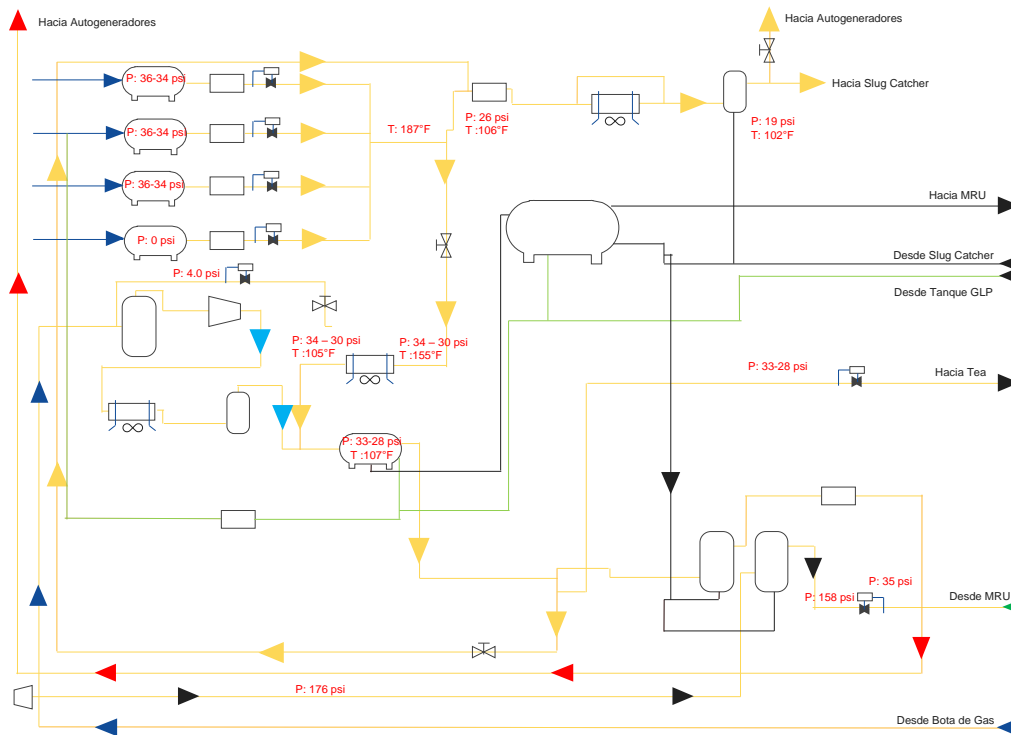
- Sistema de transformación a niveles de tensión requerido.

- Sistema de operación del sistema de generación.

A continuación, se presenta en detalle el sistema de procesamiento de gas para la generación de energía eléctrica en el campo actualmente, el cual se secciona en 3 partes para evidenciar el procesamiento del gas y como es llevado a los generadores de GAS y turbina GLP; con estos diagramas se detalla el procesamiento actual que se lleve a cabo en el campo petrolero desde la salida del gas de los separadores hacia la generación de energía eléctrica. En la sección 1 del procesamiento se muestra la salida del gas de separadores y su proceso de separación pasando por diversos scrubbers, chillers y enfriadores para separar el gas de sus componentes pesados y del agua. Cabe mencionar que el tratamiento que se realiza en el campo es de deshidratación del gas.

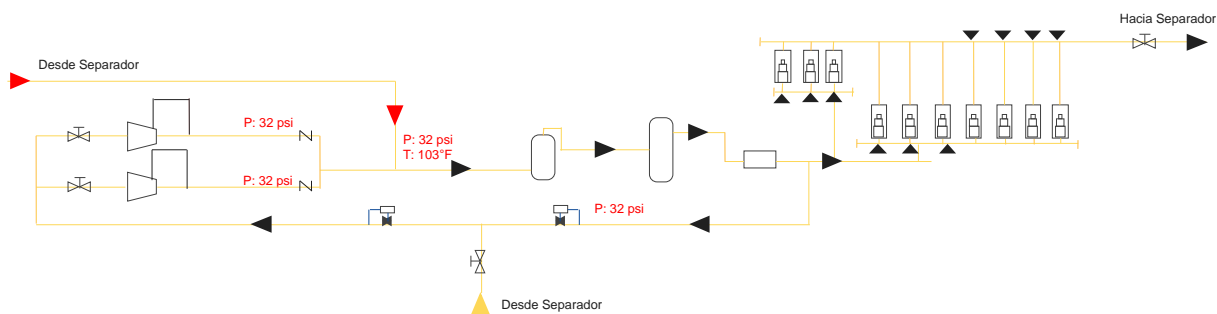
ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Figura 8. Sección 1 procesamiento del gas



En la sección 2 figura 15, se muestra el gas que llega a los compresores para posteriormente pasar por scrubbers de separación de líquidos y como objetivo final llegar a los motores de gas

Figura 9. Sección 2 Llegada del gas hacia sistema de auto generación de energía

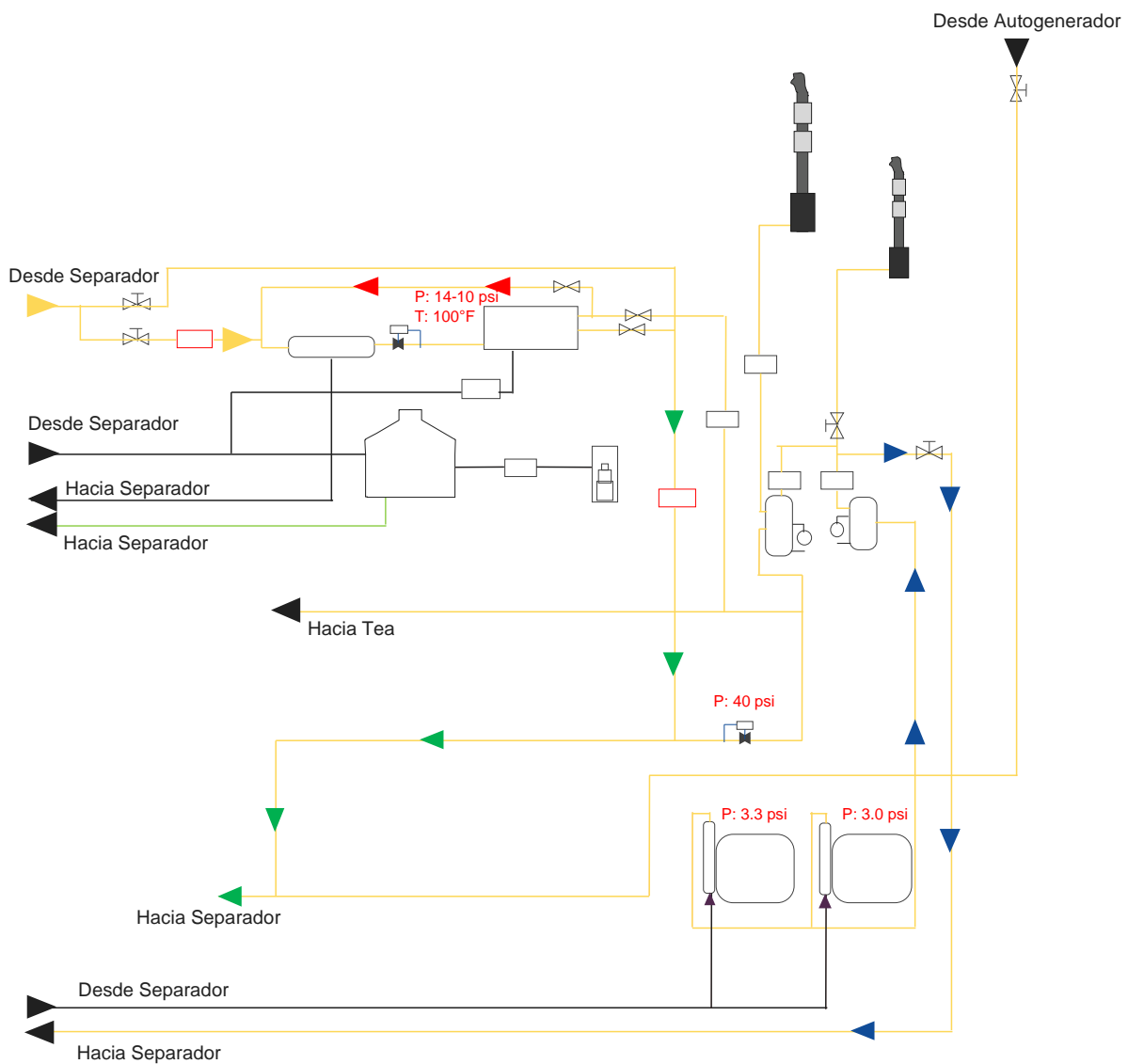


En la sección 3 se puede observar que, al momento de realizar el procesamiento de gas, en la separación del mismo los pesados (Butano, Propano, etc.), van hacia la MRU donde se realiza separación para obtener excedentes de gas seco, que van hacia el sistema de

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

autogeneración de energía eléctrica con motores a gas; y con lo obtenido de los pesados ya convertido en GLP que trabaja como combustible para la turbina a GLP para la generación de energía eléctrica. Aquí también en esta sección ya que el proceso es cíclico los excedentes de gas de este proceso de separación que no son consumidos en su totalidad se llevan hacia la TEA, para la correspondiente quema.

Figura 10. Sección 3 Llegada del gas hacia MRU para separar pesados y usar GLP como combustible en la turbina.



ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

6.2 Bases de Diseño

Para que se lleve a cabo la auto-generación de energía por medio del gas asociado a la producción de petróleo, se deben tener en cuenta temas ambientales y legales que son indispensables tener presente en este tipo de proyectos que se realizan en campos petroleros. Así como también ya cuando este se encuentra en operación los aspectos climáticos que inciden en la eficiencia de los equipos al momento de generar energía eléctrica.

En el desarrollo del proyecto de generación eléctrica a partir de gas en el Campo se tiene como objeto cumplir las regulaciones exigidas por el Ministerio de Minas y Energía en lo concerniente a la prohibición de quema y desperdicio de gas natural y las del Ministerio de Medio Ambiente con relación a la emisión de gases contaminantes a la atmósfera y la emisión de ruido.

Aprovechamiento del gas

La Resolución 181495 de septiembre 2 de 2009 del Ministerio de Minas y Energía incluye dentro de su alcance: “Regular y controlar las actividades relativas a la exploración y explotación de hidrocarburos, maximizar su recuperación final y evitar su desperdicio.”

Las actividades relacionadas incluyen los procesos de producción de gas natural a partir de la explotación de hidrocarburos. A Las compañías que desarrollen actividades en dicho sector se les impone implementar estrategias para el tratamiento y la comercialización del gas y tomar las medidas para disminuir las emisiones atmosféricas.

De manera particular, con relación al manejo del gas producido, en el artículo 52 de la resolución se establece:

Prohibición de quema de gas y desperdicio

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Se prohíbe la quema, el desperdicio o emisión de gas a la atmosfera. En toda circunstancia, se deben proveer las facilidades para su utilización, ya sea por reinyección al yacimiento o reciclamiento, el almacenamiento subterráneo o en superficie o la comercialización.

Ahora bien, cuando ya el proyecto como es en nuestro caso ya está en operación y servicio, es muy importante tener en cuenta los factores climáticos que se presenten en el campo, ya que estos pueden afectar el correcto funcionamiento del proceso de autogeneración de energía que se produce por gas asociado a la producción de petróleo.

Cuando se presentan fuertes lluvias y/o tormentas eléctricas ocasionalmente causan fallas en el sistema de interconexión nacional (S.I.N.); a su vez se identifica que caen las presiones y esto ocasiona que la eficiencia de los generadores este a su tope y se deban usar eventuales generadores a combustible DIESEL los cuales se tiene en campo 3 generadores de este tipo con una potencia cada uno de ellos de 1200 KW, los cuales generan un alto costo operativo por la necesidad de usar este combustible para operar los generadores. El coto del Kilovatio en un generador de tipo Diesel está en un valor aproximado de 900\$/KW. Así mismo, también debido a lluvias que se presenten y bajas temperaturas que por lo general y se ha evidenciado se dan en horas de la madrugada entre 3:00 am a 6:00 am se presentan bajas presiones del gas por ende se da la necesidad de usar los generadores a DIESEL para que sean respaldo debido a la caída de presión que afecta la auto-generación de energía por medio del gas.

Para poder tener un diseño claro en el proyecto de auto-generación es indispensable conocer la cromatografía del gas que se encuentra en el campo, ya que dependiendo de esta cromatografía se lleva a cabo su caracterización y así su empleo en el proceso de autogeneración de energía.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Actualmente la cromatografía que se tiene en el campo es la siguiente:

Tabla 7. *Cromatografía actual del campo*

Componente	Unidad	Salida Separador
Metano	% Molar	31,14
Etano	% Molar	11,418
Propano	% Molar	12,895
i-Butano	% Molar	2,439
n-Butano	% Molar	7,005
neo-Pentano	% Molar	0,00
i-Pentano	% Molar	2,441
n-Pentano	% Molar	2,754
n-Hexano	% Molar	0,717
n-Heptano	% Molar	0,109
n-Octano	% Molar	0,431
n-Nonano	% Molar	0,318
n-Decano	% Molar	0,029
n-Undecano	% Molar	0,00
n-Dodecano(+)	% Molar	0,00
CO ₂	% Molar	3,434
Nitrógeno	% Molar	20,314
Oxígeno	% Molar	4,552

El gas natural se clasifica de diferente manera, atendiendo a diversas circunstancias, tales como la forma en que se encuentra, sus concentraciones, composición, entre otras, clasificación que resulta necesaria conocer para establecer la necesidad de someter el gas disponible, a tratamiento o no. Por consiguiente, para determinar si un gas necesita ser tratado, se debe conocer la composición del mismo, mediante un análisis cromatográfico.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Dado que el gas asociado a la producción de petróleo es empleado para la autogeneración de energía. Este debe ser entregado a los generadores a condiciones determinadas. Condiciones que resultan variables, dependiendo de los generadores a usar y sus niveles de eficiencia, sin embargo, los niveles de referencia sobre la calidad del gas, están orientados por las condiciones del Reglamento Único de Transporte de Gas Natural (RUT), las cuales se presentan en la tabla mostrada a continuación.

Tabla 8. *Especificaciones de calidad del gas para uso industrial*

Especificaciones	Sistema Internacional	Sistema Inglés
Máximo poder calorífico bruto (GHV)	42.8 MJ/m ³	1.150BTU/ft ³
Mínimo poder calorífico bruto (GHV)	35.4 MJ/m ³	950 BTU/ft ³
Contenido líquido	Libre de líquidos	Libre de líquidos
Contenido total de H ₂ S máximo	6 mg/m ³	0,25 grano/100PCS
Contenido total de azufre máximo	23 mg/m ³	1.0 grano/100PCS
Contenido CO ₂ , máximo en % volumen	2%	2%
Contenido N ₂ , máximo en % volumen	3	3
Contenido de inertes máximo en % volumen	5%	5%
Contenido de Oxígeno máximo en % volumen	0.1%	0.1%
Contenido de agua máximo	97 mg/m ³	6.0 Lb/MPCS
Temperatura de entrega máximo	49 °C	120 °F
Temperatura de entrega mínimo	7.2 °C	45 °F
Contenido máximo de polvos y material en suspensión	1.6 mg/m ³	0.7 grano/100PCS

Nota: Resolución 054 de 2007 CREG

La producción actual del gas es de 2.5 MMSCFD proveniente de los pozos productores del campo donde el sistema de levantamiento de estos es el Bombeo Hidráulico y Bombeo Electro-Sumergible de unos 40 pozos activos del campo, actualmente se llevan a cabo proyectos

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

de perforación y actividades de workover que prevén que la producción de gas pueda aumentar en 1.5 MMSCFD y poder alcanzar una producción de hasta 4 MMSCFD, esto traerá en si un mayor reto en el uso del gas asociado a la producción de petróleo ya que con las facilidades que se tienen actualmente no se podría dar aprovechamiento a este gas y nos vemos en la necesidad de hacer quema del mismo por la TEA, a menos que no se tenga mayor capacidad para generar el gas que se asocia a la producción de petróleo dentro del campo.

6.3 Parámetros Eléctricos y de Generación

Existen varios parámetros que se requieren en un proyecto de generación de energía eléctrica usando el gas asociado a la producción de petróleo, ya que con estos parámetros se determina dimensionamiento de la planta, tecnología a usar y costos asociados. De esta forma se presentan alguno de los parámetros más determinantes en un proceso de generación.

Calidad y cantidad del gas disponible

La calidad y cantidad del gas disponible con el que cuente el campo es determinante en el desarrollo de un proyecto de auto-generación, ya que este es el combustible principal en el cual se van a alimentar los generadores para la auto-generación de energía eléctrica.

La calidad del gas se determina mediante análisis cromatográfico el cual en capítulos anteriores se ha plasmado las tablas de su cromatografía; de la cantidad depende la magnitud del proyecto que se lleva a cabo y así la tecnología y equipos a emplear en el proceso de auto-generación de energía eléctrica. Actualmente se producen 2.5 MMSCFD y con esta producción de gas se lleva cabo un proyecto de auto-generación de energía eléctrica con 10 generadores a gas y una turbina a GLP. Con esta cantidad del gas se realizan estimaciones de cuanto se tendría del mismo, de acuerdo con las curvas de producción a lo largo del tiempo.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Se debe asegurar la producción de gas sea de este valor ya que para el proyecto de generación que se tiene actualmente se poseen los equipos para este rango; por ende, a una menor producción de gas los generadores no tendrían la eficiencia correspondiente y se ve en la obligación de usar los generadores a DIESEL y también depender más del sistema de interconexión nacional (S.I.N.).

Condiciones Climatológicas

Este es un parámetro bastante importante, porque en los procesos de autogeneración de energía eléctrica, como en nuestro caso turbinas y motores de combustión interna, producen energía de acuerdo a su flujo másico y la densidad del aire es inversamente proporcional a la temperatura, influye bastante, por tal razón es muy frecuente que en horas de la mañana donde se tienen bajas temperaturas cae la presión y afecta el sistema de generación de energía, otra condición climatológica que afecta son las lluvias y tormentas debido a que estas precipitaciones en repetidas ocasiones causan fallas en el SIN que se usa como respaldo y a su vez se presentan bajas temperaturas lo que acarrea en fallas en el sistema de autogeneración; por otro lado la alta humedad acelera procesos de corrosión en los equipos.

Ubicación del proyecto

Condiciones tales como: vías de acceso, orden público, ubicación centro de generación tienen un rol muy valioso en los costos de un proyecto como este de auto-generación. Ya que por las difíciles condiciones de acceso los costos asociados se incrementan y así este proyecto de auto-generación es rentable para auto-abastecer energéticamente al campo así los costos a tener en cuenta sean elevados.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

6.4 Eficiencia

La eficiencia eléctrica está definida como las variables de energía de salida (Output), dividida por la energía entrada (Input), expresadas ambas en unidades BTU.

La eficiencia energética de los centros de generación debe ser igual o superior al 34%. En caso de que se determine una eficiencia ponderada inferior a 34%, se calculará la mayor cantidad de gas que sería consumido en un período de 30 días.

Considerando que la eficiencia energética se debe tener las unidades en BTU equivalentes, se procede a realizar primeramente las conversiones de la energía de entrada y salida a dicha unidad. En el caso del gas de entrada, se considera que un scf presenta una tasa de conversión de 2.719480748827 BTU/scf. Con esta información se obtiene la siguiente cantidad de BTU

$$2.898.000 \text{ scf} \rightarrow \text{BTU} = 2.898.000 \text{ scf} * 2.719480748827 \frac{\text{BTU}}{\text{scf}} = 7.881.055 \text{ BTU}$$

Una vez calculados los BTU de entrada, se procede a calcular los BTU de salida, considerando que 1 Kw/h corresponde a 3412.142 BTU/hr. Con esta información se obtiene la siguiente cantidad de BTU.

$$8.600 \text{ kW} \rightarrow \text{BTU} = 8.600 \text{ kW} * 3412.142 \frac{\text{BTU}}{\text{kW}} = 29.344.421 \text{ BTU}$$

Ahora se procede a calcular el porcentaje de eficiencia considerando la energía de entrada dividida en la energía de salida como se observa a continuación.

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = \frac{7.881.055 \text{ BTU}}{29.344.421 \text{ BTU}} * 100 = 26.86\%$$

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

6.5 Prohibición de Desperdicio y Quema de Gas

Se prohíbe la emisión o desperdicio, quema de gas a la atmosfera. Se deben proveer las facilidades correspondientes para su utilización, ya sea en inyección, proyectos de generación de energía como es el caso de estudio de la monografía.

Se exceptúa la quema de gas a la TEA en donde es inviable y/o anti-económico recuperar, en cuyo caso debe estar justificado técnicamente y tener aprobación del ministerio de minas y energía

Las excepciones para la quema o emisión de gas a la atmósfera a las que se hacen mención son las siguientes:

Parágrafo 3. Excepcionalmente se podrá quemar gas, previa autorización del Ministerio de Minas y Energía, quien autorizará el volumen máximo de gas a quemar, así como el tiempo máximo durante el cual se pueda realizar la quema.

Acorde con lo establecido en párrafos anteriores, es claro que la omisión de las disposiciones incluidas en la Resolución 181945 de 2009 tiene como consecuencia el pago de regalías por el gas desperdiciado en caso de que sea demostrado un injustificado manejo de gas en forma de emisiones (venteos a la atmosfera o quema)

6.6 Niveles de Ruido en Centros de Generación de Energía Eléctrica

La Resolución 0627 del 7 de abril de 2006 Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Seguridad y Desarrollo Territorial [9] establece la Norma Nacional de Emisión de Ruido y Ruido ambiental. Para acatar los lineamientos establecidos en esta resolución [9] se realizaron los estudios y las obras para la insonorización de los equipos, de manera que el ruido a que se expongan los operadores en cada centro de generación sea igual o inferior a 75 dB en el interior del cuarto de operaciones.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Así mismo, en las zonas externas al cuarto de operaciones, trabajadores y personas que se encuentren en las áreas en las que están instalados los generadores o en aquellas áreas adyacentes a estos, no deben estar expuestas a un ruido superior a 75 dB. Por áreas adyacentes se entienden las áreas industriales y/o administrativas ubicadas fuera del centro de generación.

La Tabla 8 muestra los estándares máximos permisibles para diferentes sectores y sus correspondientes actividades.

Tabla 9. *Estándares máximos de niveles de emisión de ruido en dB(A)*

Sector	Subsector	Estándares Emisión de Ruido en DB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	50
Sector B. Tranquilidad y ruido moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas Para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes. Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación. Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.	65	55
Sector C. Ruido intermedio restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	75

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Sector	Subsector	Estándares Emisión de Ruido en DB(A)	
		Día	Noche
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	60
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	55
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre.	80	75
Sector D. Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado	Residencial suburbana.	55	50
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Nota: Resolución CREG 0627 de 2006

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

7. Cuantificación de la energía eléctrica producida a partir del uso del gas

En base al estudio de análisis de rentabilidad de usar el gas asociado a la producción para la generación de energía eléctrica se tiene en cuenta lo siguiente.

7.1. Análisis de los Costos y la Energía Generada en Campo

En la actualidad el campo cuenta con dos posibles fuentes de energía que abastecen las necesidades que tiene el campo las cuales es el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y el uso de generadores de energía los cuales son alimentados con diésel.

La Tabla 9 muestra los costos asociados que se tienen por reporte de campo, en el costo que requiere producir o comprar un KW/h de energía mediante estas dos fuentes.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

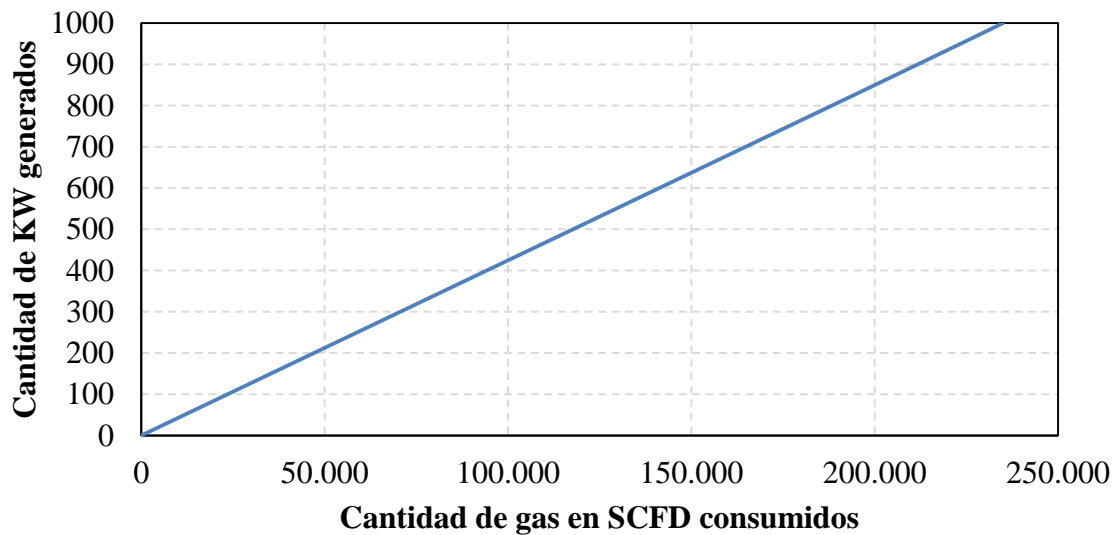
Tabla 10. Costo de KW por las fuentes de energía disponibles en el campo

Fuente de energía	Costo por KW [COP]
Sistema Interconectado Nacional (SIN)	490
Generadores a diésel	900

Los reportes que maneja el campo estiman que por hora se consumen alrededor de 12.000 KW, los cuales están asociados a los equipos requeridos para la producción de los pozos y las facilidades principales que se tienen para el tratamiento de este previo a ser enviado por los ductos.

Sin embargo, el gas que se genera en el campo antes, era llevado directamente a la tea, debido a que no se tenía un uso para este. Ahora, con la implementación de la autogeneración de energía empleando el gas producido, se ha logrado obtener una producción de electricidad. Como se aprecia en la Figura 166, esta gráfica indica cuanto es requerido por un generador el cual emplea gas como fuente de energía para la generación de cierta cantidad de KW-HR.

Figura 11. Cantidad de gas requerido para la generación de electricidad en un generador de gas



ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

El campo cuenta con una serie de generadores, clasificados en dos disposiciones: una base que es aquella que siempre se encuentra operando y otra de respaldo que entra en funcionamiento cuando se tiene la capacidad de gas completa requerida para su uso.

En algunas ocasiones, el gas procedente de los pozos no es suficiente o no alcanza a llegar hasta las facilidades de producción, debido a los diferenciales de presiones que fluctúan en cada pozo día a día, ocasionando que la producción que se obtiene desde el separador y las botas de gas no sea una constante.

En total el campo cuenta con 12 generadores, los cuales 8 son catalogados como principales en carga base, 3 como de respaldo en carga repartida y (1) uno que se encuentra en stand by para usar cuando se llevan a cabo mantenimientos o fallas en unos de los generadores.

En la tabla 10 se observa la cantidad generada en promedio por cada uno de los equipos disponibles, así como el tipo de clasificación denominado para cada uno.

Tabla 11. *KW generados por cada generador*

Generador	Tipo de generador	Cantidad generada [KW]
27	Principal	800
26	Respaldo	850
65	Principal	700
66	Principal	850
67	Principal	850
68	Respaldo	650
69	Respaldo	650
70	Principal	650
71	Principal	900
72	Principal	900
73	Principal	800

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

En la tabla 11 se observa la cantidad de gas generado en el campo A y B.

Aunque los generados se encuentran localizados en el campo A, el gas para alimentar estos equipos se complementa con el obtenido de las facilidades de superficie del campo B.

Como se aprecia la mayor cantidad de gas es obtenido de los pozos pertenecientes al campo A con una participación de un 73%.

Con esta información y empleando la Figura 17 es posible calcular cuántos KW es posible generar conforme los generadores disponibles en el campo.

Como resultado se obtuvo la Tabla 12 en donde se observa cuanto se requeriría en promedio cada generador para poder generar la cantidad dispuesta para cada uno de ellos.

Tabla 12. *Cantidad de gas promedio disponible en el campo*

Fuente de gas	Gas generado [scfd]
Separador Campo A	1.842.000
Bota de gas Campo A	273.000
Gas proveniente del Campo B	783.000

Tabla 13. *Cantidad de gas requerido para cada generador*

Generador	Cantidad generada [KW]	Cantidad gas requerida [scfd]
27	800	188,466
26	850	200,100
65	700	165,200
66	850	200,100
67	850	200,100
68	650	153,566
69	650	153,566
70	650	153,566
71	900	211,733

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

72	900	311,733
73	800	188,466

Aparte de los generadores en el campo, en las facilidades de superficie también se cuentan con turbinas que son alimentadas con el GLP que se produce de igual manera en el campo.

En la Tabla 13 se recopilan los costos asociados a las fuentes de autogeneración disponibles en el campo, así como el valor de referencia de GLP obtenido de una fracción que es adquirida como contingencia en caso de que no se genere la cantidad requerida en las facilidades del campo.

Tabla 14. *Costo de KW por las fuentes de autogeneración disponibles en el campo*

Fuente de energía	Costo por KW [COP]
Gas	220
GLP Campo	300
GLP Referencia	500

Con toda la información anterior, es posible analizar que el uso del gas y el GLP producido en campo permite abastecer en una gran cantidad los requerimientos energéticos diarios con los cuales cuenta el campo de estudio.

Con el objetivo de poder analizar más a fondo esta situación, se consideró demanda energética de un día de operación del campo y las fuentes de energía que fueron consideradas para suplir dicha demanda.

Esta información se puede detallar en la Tabla 14.

La Figura 12a permite apreciar cómo es la participación de las fuentes de energía sobre el costo total por hora incurrido en la generación de los KW correspondientes.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

En cuanto a la Figura 12b permite apreciar cómo es la participación de estas fuentes sobre la cantidad de energía generada sobre la demanda total plasmada.

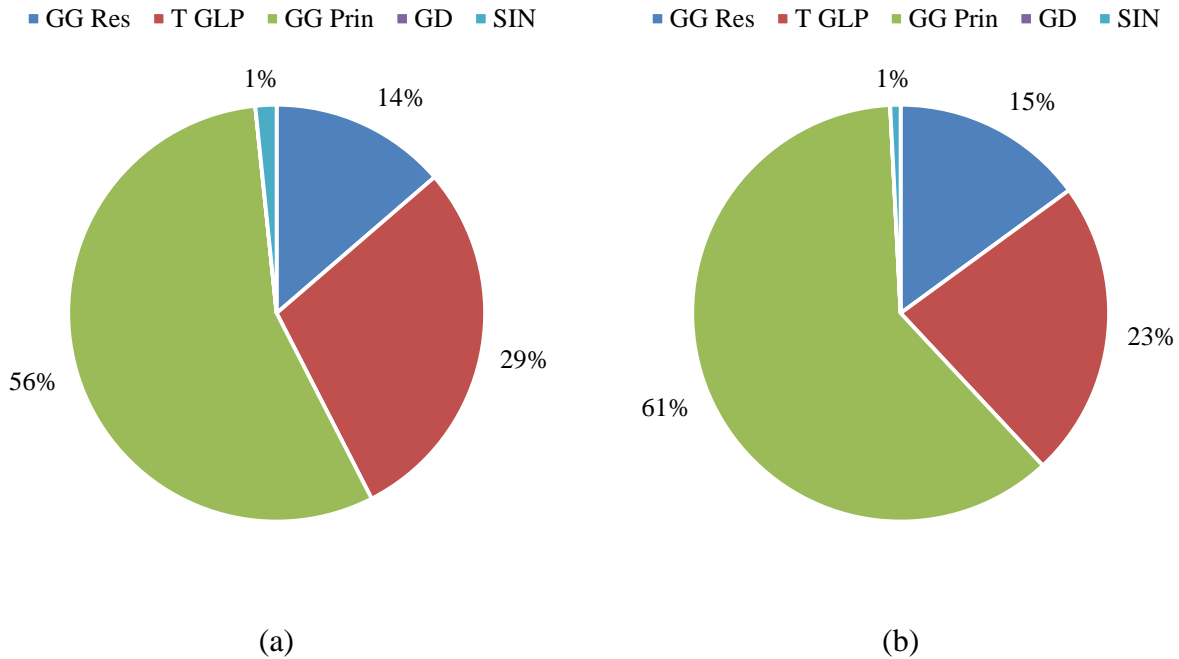
Estas gráficas permiten observar que más de la mitad de la demanda del campo es soportada por la generación de gas principal, que si se suma con la de obtenida por los generadores de respaldo esto implica más del 75% de la generación de electricidad total del campo es suplida por la autogeneración mediante el gas producido en las facilidades.

Tabla 15. *KW empleados por fuente de generación en caso de estudio*

Fuente de energía	Cantidad generada [KW]	Costo [COP]
Generadores con gas respaldo (GG Res)	1.860	409,200
Turbina GLP (T GLP)	2.870	861,000
Generadores con gas principales (GG Prin)	7.600	1,672,000
Generadores con diésel (GD)	0	0
SIN	100	49,000
Demanda	12.430	2,991,200

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Figura 12. Porcentaje de participación de los tipos de fuentes en a) costos de generación y b) cantidad generada



En la Tabla 15 se aprecia los costos que se incurrieron en la generación de la energía con cada una de las fuentes de energía empleadas, contra los costos que se hubiesen incurrido si esta cantidad de energía hubiese sido cargada al Sistema Interconectado Nacional.

Como se puede apreciar, el uso de las fuentes de autogeneración implica menores costos en los cuales se incurren al momento de suplir la demanda requerida por el campo en sus actividades diarias.

El costo que hubiese sido cargado al SIN representa un aumento del 104% aproximadamente lo que indica que el ahorro generado por la autogeneración es de más del doble respecto al costo incurrido por la compra de la energía al SIN.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Tabla 16. Comparación de costos incurridos contra los que representaría ser suplidos por el SIN

Fuente de energía	Cantidad generada [KW]	Costo incurrido [COP]	Cargo por SIN [COP]
Generadores con gas respaldo	1.860	409,200	911,400
Turbina GLP	2.870	861,000	1,406,300
Generadores con gas principales	7.600	1,672,000	3,724,000
Generadores con diésel	0	0	0
SIN	100	49,000	49,000
Demanda	12.430	2,991,200	6,090,700

8. Conclusiones

Del análisis realizado del sistema de auto-generación de energía eléctrica presentado en esta monografía, se logra concluir lo siguiente:

A partir de la revisión de literatura, fue posible establecer que la quema del gas de producción asociado a las actividades de la industria de hidrocarburos presenta soluciones que permiten aprovechar el gas. Entre ellas el uso del gas en la autogeneración de energía es una buena oportunidad para el activo en estudio.

Acorde a las tecnologías encontradas para el caso de estudio, el uso del gas asociado a la producción de petróleo en el campo como fuente para generación de energía eléctrica es rentable y beneficiosa ya que es una fuente que se tiene campo. El estudio arrojó que alrededor del 75% de la energía requerida en el campo puede ser soportada por el aprovechamiento del gas, permitiendo una disminución en el requerimiento al SIN y la dependencia de los generadores a DIESEL presentes en el campo.

Factores para poder dimensionar un sistema de autogeneración de energía eléctrica por medio del gas asociado a la producción, presenta incidencia la calidad y cantidad del gas que se tiene en el campo, condiciones climatológicas, ubicación y equipos que se utilizan para la generación de energía eléctrica, son factores vitales para el desarrollo de generación de energía eléctrica asociado al gas asociado a la producción de petróleo.

Con la generación de energía por medio del gas asociado a la producción de petróleo, disminuye impacto ambiental, ya que todo el gas es utilizado en el proceso de generación de energía ya sea para los generadores a gas o en el uso de condensado para la turbina, y no se envían a la TEA para que sean quemados.

9. Recomendaciones

A partir del análisis de Tecnologías existentes se recomienda evaluar otras tecnologías asociadas a la autogeneración de energía empleado como combustibles derivados del gas como GLP u otros condensados. Esto debido a sus ventajas como la disponibilidad del producto en las facilidades del campo.

Acorde al análisis realizado al sistema de generación, este se puede optimizar realizando simulaciones en software de procesos que permitan identificar diseñar un proceso donde se obtenga un mejor potencial de gas asociado a la producción y a su vez poder optimizar la energía de la que actualmente se genera.

Implementar un sistema de control de fugas en las locaciones de autogeneración de energía con gas natural, debido a los caudales de combustible manejado y las locaciones en las cuales se encontrarían dichas fugas es importante mantener un control para evitar incidentes futuros.

Revisar la oportunidad en el tratamiento del gas de producción asociado en proyectos de abastecimiento de gas natural para servicio doméstico en municipios cercanos al campo.

Es necesario que los parámetros de presión y temperatura sean estables con el fin de poder garantizar la operación continua de los equipos y la generación de energía eléctrica no se vea afectada.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Referencias Bibliográficas

- Aldana Urrea, A.V. & Grueso Castillo, J.M.. (2018). Análisis Del Mercado De Gas Natural Para La Generación Eléctrica.
- Alvarado Sánchez, C. & Vallejo Jiménez, J.C. *Evaluación Técnico Financiera De La Viabilidad De La Implementación De Un Sistema De Generación De Energía Eléctrica Que Permita El Aprovechamiento Del Gas Asociado Al Campo Orito*, Putumayo. 2019.
- Alvarado Tores R. & Gallegos Orta, R., (2002). *Captación Del Gas Natural Producido En Un Campo Petrolero Del Oriente Ecuatoriano Para Su Utilización Como Combustible Para La Generación De Energía Eléctrica*.
- Amaya Amaya, T.Y. (2019). *Separación, Deshidratación y Endulzamiento De Gas de Producción En Cabeza De Pozo Para Autogeneración Eléctrica Sostenible*.
- Arnold, K. & Stewart M. (2008). *Surface Production Operations*.
- Ayuso, M. E. (2017). *Análisis de las prácticas de quema y venteo de gas natural asociado: Obstáculos y avances en Latinoamérica*. ENERLAC. Revista De energía De Latinoamérica Y El Caribe, 1(1), 66–105.
<https://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/15>
- Bahadori, Alireza. (2014). *Natural Gas Proccesing*.
- Beggs, H. (1984). *Gas Production Operation*. OGCI Publications, Tulsa - Oklahoma.
- Campbell, J.M. (1994). *Gas Condition and Processing, The Equipment Modules, Volume 2*.
- Colino Martínez, A., Caro, R. (2010). *Dialnet, Sistema de Generación Energía*.
- Colombia. Comisión de Regulación de Energía y Gas. Documento CREG-097. (23, Diciembre, 2014). *Regulación Actividad de Auto-generación*

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Colombia. Comisión de Regulación de Energía y Gas. Documento CREG-026. (26, Febrero, 2018). *Análisis De Comentarios A Resolución CREG 121 De 2017. Autogeneración a Pequeña Escala y Generación Distribuida.*

Colombia. Comisión de Regulación de Energía Y GAS. Resolución 084. (15, Noviembre, 1996). *Por la cual se reglamentan las actividades del Autogenerador conectado al Sistema Interconectado Nacional (SIN), Bogotá D.C., 1996.*

Colombia. Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución No. 174 de 2021 (7, Octubre, 2021). *Regulación Actividades de Auto-generación a pequeña escala y generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional.*

Diaz Santander, C.D. (2022). *Análisis De Viabilidad Para el Aprovechamiento de Gas Residual En La Generación Eléctrica En Un Campo Del Valle Inferior Del Magdalena.*

Flores, Torres, Rodríguez Y Alcaraz. Marco, José G, José H y Agustín M. *Confiabilidad Operativa de Sistemas Para Compresión de Gas y Generación Eléctrica En Complejos Petroleros.* 2010.

Gallego Gutiérrez, C.E. & Pantano Díaz, O.A.. *Estrategia de Mantenimiento Para Sistemas De Generación Eléctrica Local con Motores a Gas Para Campos Petroleros.* 2008.

Guamán Villon, L.V.; Calderón Enríquez, G.G. & Burgos Orrala, W.R. (2012). *Generación De Energía Eléctrica Con Gas Natural Del Petróleo.*

Morales Torres, W.A. & Ordoñez Cárdenas, S. (2016). *Metodología Para Determinar La Localización De Una Planta De Generación Eléctrica A Gas Natural Ciclo Combinado..*

Muñoz Franco, J.P. (2012). *Modelo Para Determinar Viabilidad Financiera En Proyectos De Autogeneración De Energía Eléctrica A Gas En Las Estaciones Del Sistema De Transporte de Ecopetrol S.A.*

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

- Murillo Delgado, V.O. y Payares Vasques, M.B. (2016). Evaluación Del Suministro de Energía Eléctrica Mediante Generación Con Gas En El Campo de Producción CASABE De La Gerencia de Operaciones Y Desarrollo Del Río.
- Netusil, M., & Ditl, P. (2012). *Natural Gas Dehydration*. InTech. doi: 10.5772/45802
- Perdomo Hermida, L.C. & Gaitán Naranjo, R. (2011). *Análisis Técnico Económico Del Uso Integral Del Gas De Orito*.
- Quijano Aponte, J.C. (2017). *Viabilidad Técnico Económica Del Aprovechamiento De Gas Residual Para Generación Eléctrica Basado En El Costo Kilowatt/Hora*.
- Rivera Murillo, M.E. (2020). *Evaluación De La Eficiencia De Generación Eléctrica A Partir De Motores A Gas En Uno De Los Generadores Del Campo La Cira Infantas En La Planta De Autogeneración*.
- Sánchez Gómez, J. (2005.). *Análisis De La Generación Con Gas Natural En Colombia*.
- Speight, J.G. (2007). *Natural Gas: a Basic Handbook*. Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
- Stewart, Maurice Arnold, Ken. (2011). *Gas Dehydration Field Manual - 1.2.3 Why Dehydrate*. Elsevier. <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt009ISDV1/gas-dehydration-field/why-dehydrate>
- Superservicios. (2015). *Dirección Técnica De Gestión De Energía, Evaluación Integral De Prestadores Empresa De Energía Del Bajo Putumayo S.A. E.S.P.*
- Torres Ducon, E.L. (2018). *Ingeniería Básica Para El Acondicionamiento Del Gas Para Generación De Energía Eléctrica En El Campo La Cira Infantas*.
- Villamizar Meneses, D.A. (2019). *Evaluación Integral De Alternativas Para El Uso Del Gas De Teas En El Sector Petrolero*.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

Wines, Thomas H. Mokhatab, Saeid. (2022). *Contamination Control in the Natural Gas Industry*. Elsevier. <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012RWL51/contamination-control/glycol-absorption>

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

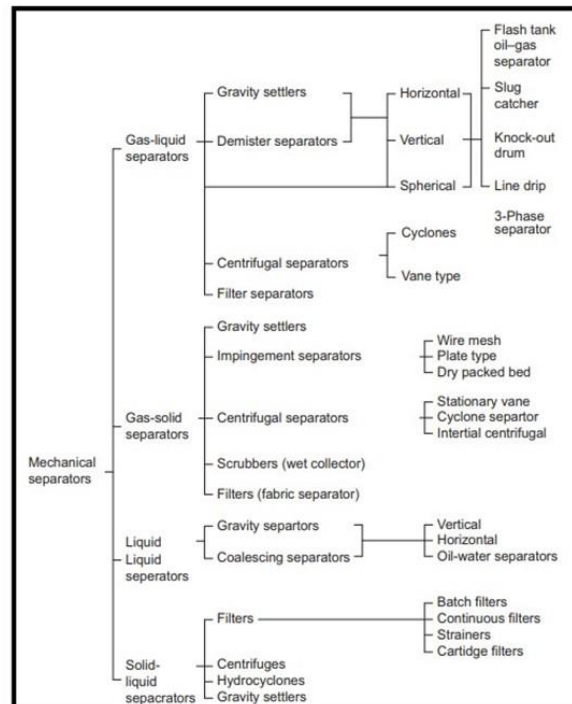
Anexo A

Para poder describir el proceso de generación del gas y a su vez el tratamiento para este utilizarlo en la generación de energía eléctrica, es pertinente tratar el tema de la separación del gas en el crudo.

Las técnicas de separación son aquellas operaciones que separan físicamente ingredientes específicos inmiscibles de una mezcla, es decir, sin que se produzca una reacción química.

Los separadores de gas y líquidos por lo general se dividen en 2 partes principales, alta relación gas-líquido y baja relación gas-líquido, los procesos de separación gas-líquido son mayormente empleados en la industria de hidrocarburos.

Figura A1. *Tipos de separadores mecánicos*



Nota: Alireza Bahadori (2014). Chapter 4: Gas-Liquid Separators. Natural Gas Processing, 2014, 151 p.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

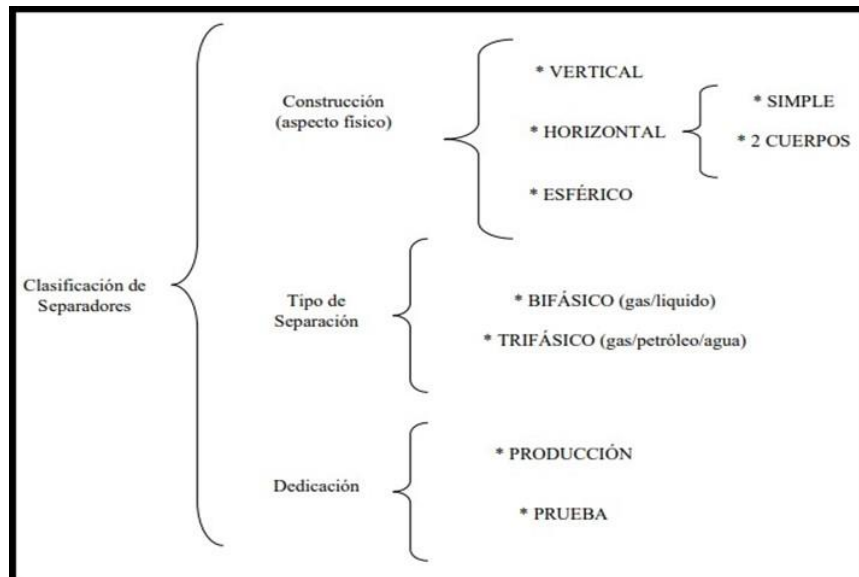
A.1 Tipos de Separadores

En los campos de petróleo, se encuentran mezclas de líquido y gas, que son sometidas a un proceso de separación.

Para poder llevar a cabo esta separación se debe tener en cuenta tres variables que son: fuerza de gravedad, fuerza centrífuga y choque entre partículas. De estas tres variables la más usada es la separación por gravedad, ya que permite la arquitectura del equipo muy simple.

Las etapas del proceso de separación son: sección primaria, sección secundaria, sección de extracción de niebla y segregación final. En los campos petroleros se emplean dos tipos de separadores de acuerdo con la necesidad del campo, y estos son: separadores bifásicos y separadores trifásicos. También pueden ser verticales y horizontales. En el caso de nuestro campo donde estamos llevando a cabo la monografía tenemos separadores trifásicos horizontales. En los separadores trifásicos se lleva a cabo una separación de gas-petróleo-agua.

Figura A2. Clasificación general de los separadores.



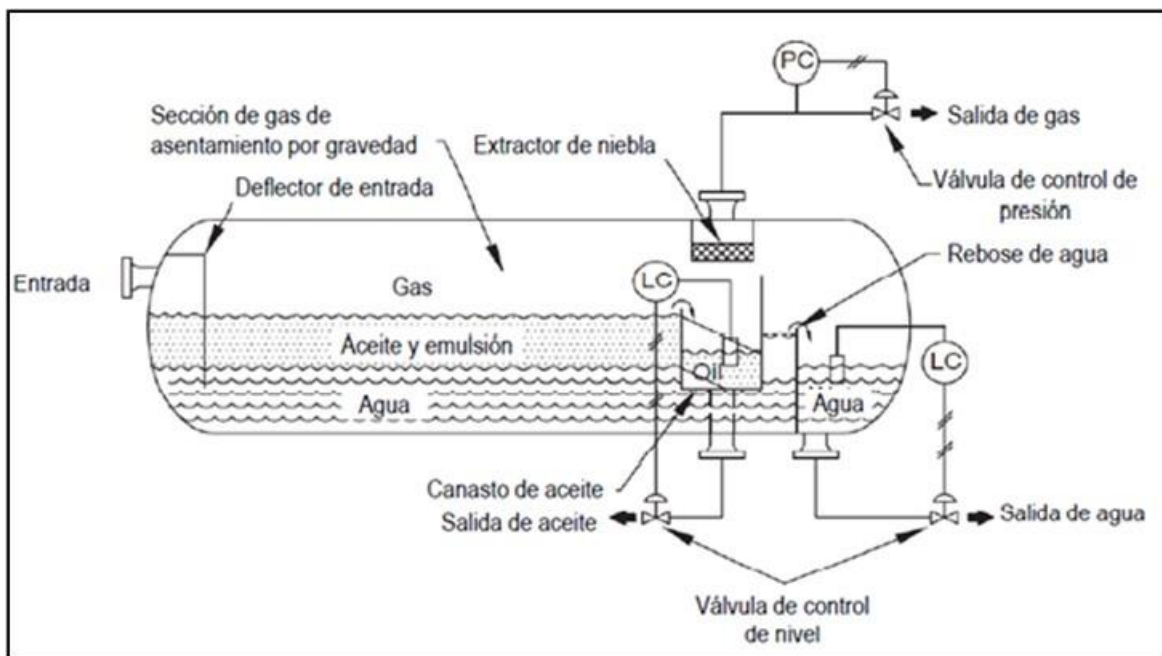
Nota: Requena G. José L. Rodríguez M, Mauricio F (2006). Diseño y evaluación de separadores bifásicos y trifásicos. Universidad Central de Venezuela, Caracas 2006. 49 p.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

A.2. Separadores Horizontales

Este tipo de separadores se utilizan cuando el líquido contiene grandes volúmenes de fluidos totales y grandes cantidades de gas disuelto. Se emplean más cuando la relación gas-líquido es pequeña o se requiere separar las 3 fases, son eficientes cuando se tienen grandes volúmenes de líquido. Son los preferidos para aplicaciones de separación de 3 fases. En un separador horizontal, el líquido que se ha separado del gas, se mueve a lo largo del fondo del recipiente hacia la salida del líquido.

Figura A3. Separador Horizontal Trifásico.



Nota: Maurice Stewart & Ken Arnold (2008). Chapter 4: Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators.

A.3. Deshidratación del Gas

Una vez se obtiene el gas del separador, es necesario realizar un tratamiento previo a su uso en los equipos de autogeneración. Una corriente de gas natural está acompañada de cantidades significativas de agua, las cuales deben ser retiradas antes de su manejo en las

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

facilidades posteriores. En el caso de los motores de generación, existen unas limitaciones técnicas en el contenido de agua presente en la corriente de gas. Estas son establecidas por los fabricantes y están relacionadas con el objetivo de conseguir un buen funcionamiento de sus equipos y evitar una avería en el sistema. Es por esto que el contenido de agua es quizá el parámetro más importante a considerar con el fin de garantizar la integridad de los equipos en operación.

Para garantizar un buen funcionamiento de las líneas de transporte de gas, es necesario que la humedad del gas no exceda los 97 mg/m^3 . La presencia del agua en la corriente genera la formación de hidratos de gas y aumenta la tasa de corrosión. De igual manera, el agua puede condensarse en las tuberías y acumularse en puntos bajos a lo largo de la línea, lo que reduce su capacidad de flujo. A su vez, al momento de generar la venta de gas es necesario cumplir ciertos estándares internacionales para evitar penalizaciones en la transacción (Stewart, 2011). Diferentes metodologías han sido empleadas en la industria para la separación de la fracción de agua de la corriente del gas, sin embargo, Wines (2022) sugiere dividir las en tres tipos principales: absorción por glicol, adsorción en agentes sólidos y enfriamiento de gas.

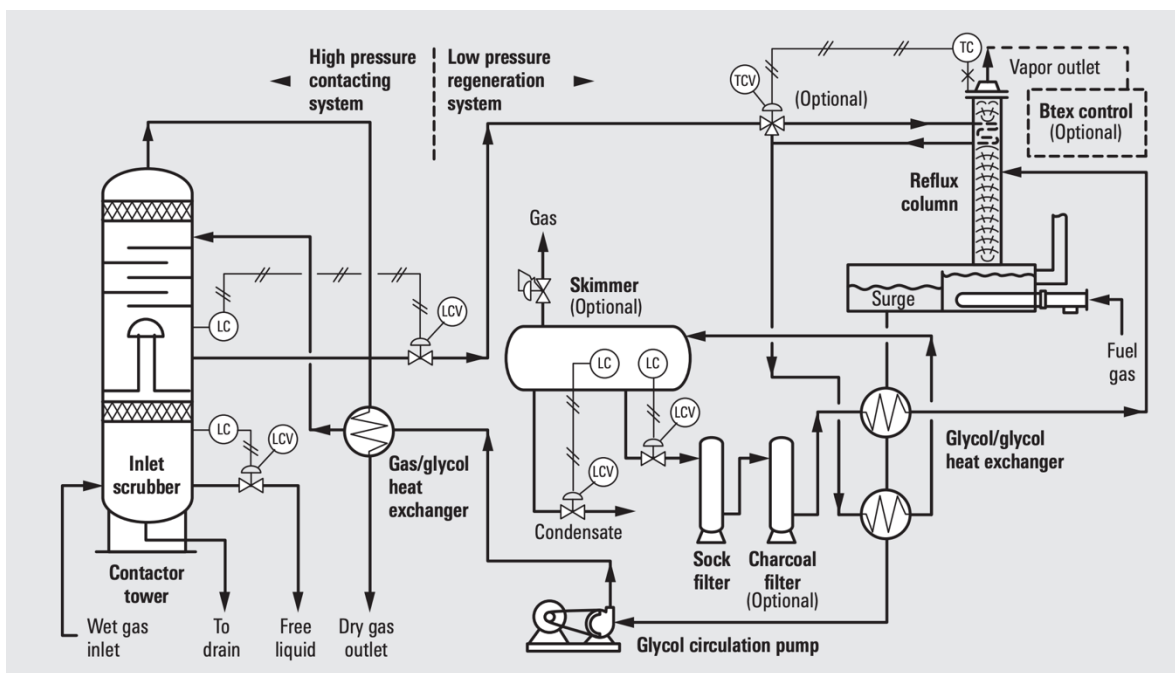
A.3.1. Método de Absorción por Glicol

Diferentes tipos de glicoles son usados en estos procesos, sin embargo, el trietilenglicol (TEG) es el más ampliamente aplicado en procesos de absorción de vapor de agua en la industria de hidrocarburos. Sus propiedades favorables para el uso comercial incluyen su alta capacidad higroscópica, baja presión de vapor, buena estabilidad a altas temperaturas y baja solubilidad en el gas natural. Cuando el TEG no presenta un buen rendimiento, el dietilenglicol es usado como otra opción para la deshidratación. La Figura 9 permite apreciar un esquema de un proceso de deshidratación de gas mediante absorción. Este proceso de remoción de agua puede ser separado

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

en dos corrientes principales, la del gas y la del glicol. El flujo del gas húmedo entra por debajo de la torre de contacto haciendo que se dirija en contracorriente al glicol el cual es insertado por la parte alta de la torre. Al entrar en contacto el vapor de agua es absorbido generando que la corriente de gas contenga una menor cantidad al salir por la parte superior de la torre. En cuanto al flujo del glicol, una vez se encuentra cargado de agua este procede a ser regenerado alcanzando temperaturas entre los 300-400°C obteniendo una corriente con una pureza del 98-99% de glicol.

Figura A4. Esquema de una facilidad de deshidratación de gas mediante absorción.



Nota: Schlumberger (2016) Glycol dehydration systems

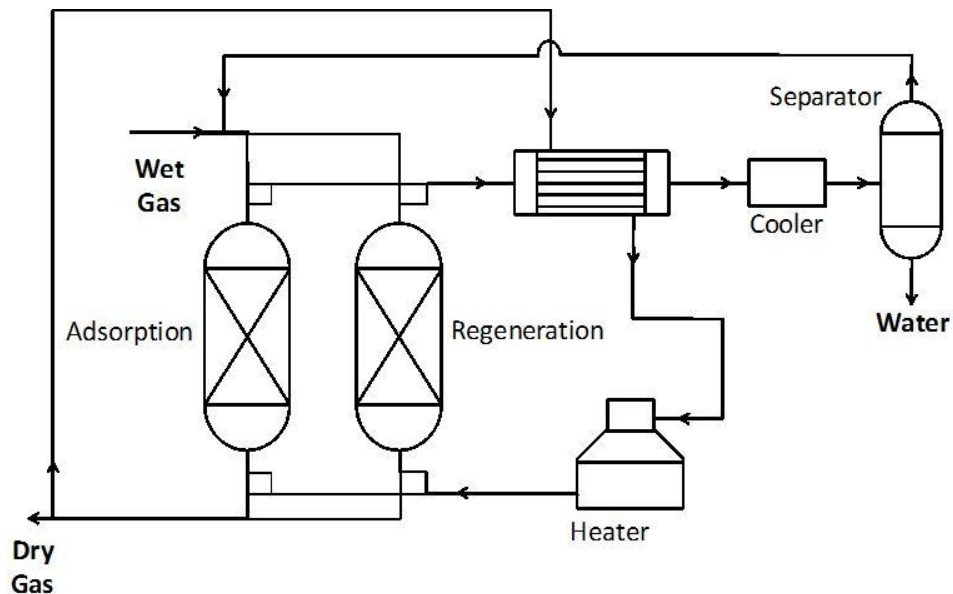
A.3.2. Método de Adsorción en Agente Sólido

Si bien el proceso de absorción permite remover una cantidad considerable de agua, los procesos de adsorción son empleados si es requerido remover un gran porcentaje de la cantidad de agua presente en la corriente de gas. Tres tipos principales de absorbentes son usados en la industria de gas para realizar la deshidratación de sus procesos, la sílice, la alúmina y una

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

combinación denominada molecular sieve. Esta última es ampliamente empleada debido a su superior capacidad en la retención de agua. Estos procesos permiten hacer una remoción generando corrientes con menos de 0.1 ppm de agua en ella. En la Figura 10 se puede apreciar un proceso de deshidratación empleando adsorción. El funcionamiento de este sistema es similar al de absorción, solo cambia el tipo de proceso empleado.

Figura A5. Esquema de una facilidad de deshidratación de gas mediante adsorción.



Nota: Netusil (2012) Natural gas dehydration

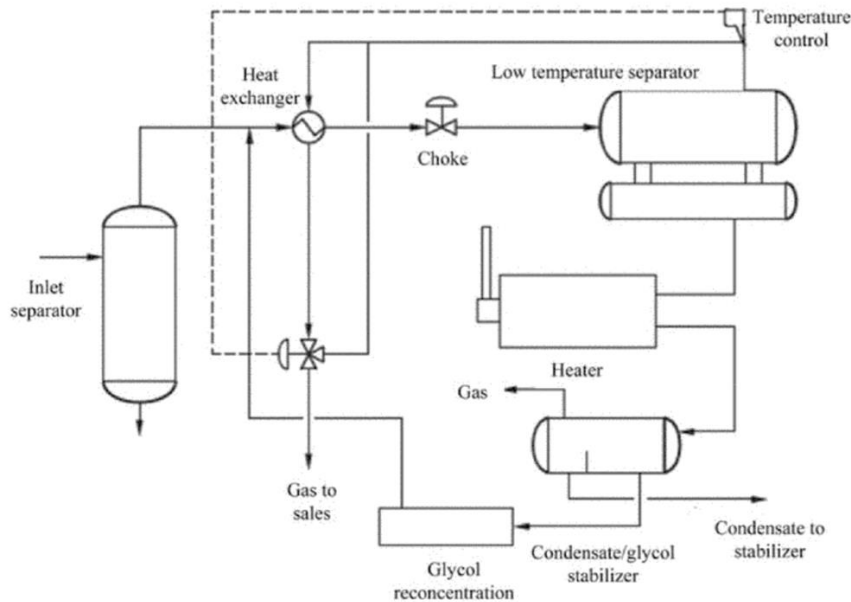
A.3.3. Método de Enfriamiento de Gas

El enfriamiento rápido que experimenta una corriente de gas natural permite que se genere la condensación del agua y de hidrocarburos permitiendo ser una alternativa para la deshidratación del gas. Este proceso requiere altas presiones para ser económicamente viable. De igual manera, se puede presentar cuando las condiciones son favorables donde se tiene una corriente a alta presión y una caída en la presión es requerida para ingresar a una línea de transporte de gas. La figura 11 presenta un esquema de un proceso de enfriamiento de gas típico. En este tipo de deshidratación, el efecto de Joule-Thomson juega un papel importante, y es por

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

esto que cuando se tiene una declinación de presión en los pozos, es necesario tener equipos adicionales para garantizar que este efecto ocurra y se dé la separación del agua del gas.

Figura A6. Esquema de una facilidad de deshidratación de gas mediante enfriamiento.



Nota: Wines (2022) Contamination Control in the Natural Gas Industry

A.3.4. Escenario en el Campo de Estudio

En primera instancia, tomando en cuenta los parámetros básicos para la selección del tratamiento del gas asociado a la producción de petróleo y teniendo en cuenta las disposiciones actuales dentro de las facilidades de superficie, el método para el tratamiento del gas y su aprovechamiento en la autogeneración de energía es la deshidratación de este. En el campo de estudio, solo requiere realizar la remoción del agua de la corriente y no es necesario usar endulzamiento con aminas para llevar a cabo el proceso de tratamiento de este. El campo cuenta con dos unidades de enfriamiento que permiten que uno de ellos se encuentre en operación mientras que el otro esté en fase de regeneración. La deshidratación se realiza haciendo pasar, a contracorriente, gas caliente por el desecador. Para eliminar el agua absorbida del gas seco se

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA

procede a realizar un enfriamiento mediante expansión, consiguiendo de esta forma la condensación del agua.

Para disminuir la proporción de hidrocarburos de mayor peso molecular al metano que presenta el gas se debe proceder al enfriamiento de este último, permitiendo conseguir una corriente de compuestos más pesados como etano. A continuación, se fracciona este condensado para obtener así los diferentes compuestos que lo forman. Este suele contener todos los hidrocarburos pesados no deseables para la licuefacción, incluidos etano, propano y butano, estos condensados a su vez son usados para la obtención del GLP que sirve de alimento a la turbina como respaldo a los generadores a gas en la generación de energía eléctrica.