



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Estudio de viabilidad para la sustitución de 4 grupos electrógenos a diésel (gasóleo) por 5 motogeneradores a gas asociado de cogeneración electricidad – calor en un campo petrolero de Ecuador

Autora: Diana Carolina Peñaherrera Cabrera

Tutor: Miguel Villarrubia

Curs acadèmic: 2017- 2018

Màster en Energies Renovables i
Sostenibilitat Energètica

Dos Campus d'Excel·lència Internacional:



Agradecimientos

Doy gracias a Dios por todas las bendiciones que da a mi vida. A mis padres por su gran amor y apoyo en todo momento, por sus consejos, por los valores que me han inculcado, por todo su esfuerzo y cuidados.

Índice

1. Objetivo	1
2. Alcance	1
3. Antecedentes	1
4. Lugar de Estudio	3
5. Producción del campo K	3
6. Características del petróleo y gas asociado	5
7. Situación Actual de Generación Eléctrica campo K.....	6
8. Demanda de Energía	7
9. Balance de energía eléctrica actual	8
10. Situación propuesta en el estudio para generación de energía eléctrica	9
10.1 Generación de energía eléctrica	9
10.2. Aprovechamiento de gas asociado	11
10.3. Situación actual vs Situación futura	12
11. Determinación de Ahorro de Combustible.....	13
12. Análisis de emisiones de CO ₂	14
13. Análisis para el aprovechamiento de gases de escape en proceso de deshidratación de crudo.....	16
13.1. Potencia térmica obtenida del motor Waukesha	16
13.2. Balance de masa y energía.....	16
13.3. Potencia térmica requerida para calentamiento de agua de recirculación	19
13.4 Uso de la potencia térmica de los motogeneradores Waukesha	19
14. Conclusiones	20
15. Bibliografía.....	22
16. Anexos.....	23

Índice de Tablas

Tabla 1: Producción de petróleo.....	4
Tabla 2: Producción de agua.....	4
Tabla 3: Producción de gas asociado.....	5
Tabla 4: Características del petróleo.....	5
Tabla 5: Análisis de cromatografía de gas.....	6
Tabla 6: Propiedades del gas en condiciones estándar.....	6
Tabla 7: Generación de energía eléctrica campo K.....	7
Tabla 8: Demanda actual.....	7
Tabla 9: Datos gas asociado campo K.....	8
Tabla 10: Generación de energía eléctrica de 5 turbina a gas.....	8
Tabla 11: Datos diésel (gasóleo).....	9
Tabla 12: Generación de energía eléctrica de 8 motogeneradores Wartsila.....	9
Tabla 13: Características generador Waukesha.....	9
Tabla 14: Propuesta de generación eléctrica 5 motores Waukesha.....	10
Tabla 15: Sustitución de equipos a diésel por equipos a gas asociado.....	10
Tabla 16: Datos consumo de gas asociado.....	11
Tabla 17: Aprovechamiento de gas asociado.....	11
Tabla 18: Resumen de propuesta.....	12
Tabla 19: Situación actual consumo de combustible.....	13
Tabla 20: Situación propuesta.....	13
Tabla 21: Ahorro económico de combustible diésel.....	14
Tabla 22: Emisiones actuales de CO ₂	14
Tabla 23: Emisiones futuras de CO ₂	15
Tabla 24: Emisiones de CO ₂ de gas asociado.....	15
Tabla 25: Emisiones de CO ₂ de diésel.....	16
Tabla 26: Datos del sistema térmico motor Waukesha.....	16
Tabla 27: Balance de masa.....	17
Tabla 28: Variables balance de energía.....	18
Tabla 29: Resultados de potencia térmica requerida.....	19

Índice de Figuras

Figura 1: Flares (antorchas) de quema de gas asociado.....	2
Figura 2: Balance de masa y energía del tanque de lavado.....	18
Figura 3: Potencia térmica vs temperatura de salida.....	19

Estudio de viabilidad para la sustitución de 4 grupos electrógenos a diésel (gasóleo) por 5 motogeneradores a gas asociado de cogeneración electricidad – calor en un campo petrolero de Ecuador

1. Objetivo

Realizar el análisis técnico de la sustitución de motogeneradores Wartsila que funcionan a diésel para la generación de energía eléctrica por motogeneradores Waukesha que utilizan gas asociado obtenido a partir de la producción de petróleo; además determinar la producción eléctrica y el aprovechamiento del calor de los gases de escape de los equipos Waukesha para el proceso de deshidratación de crudo.

2. Alcance

A partir de la caracterización de la generación de energía eléctrica que posee el campo de estudio se realiza un análisis técnico para la sustitución de un porcentaje de motogeneradores Wartsila que funcionan con combustible diésel (gasóleo), por motogeneradores Waukesha que utilizarán gas asociado, obtenido junto al petróleo en su extracción y procesamiento; el cual actualmente es quemado en el flare o también conocido como antorcha.

Adicional, se analiza la viabilidad de utilizar los gases de los motogeneradores Waukesha para proporcionar calor en el proceso de deshidratación de crudo.

Dentro del trabajo no se tiene previsto realizar el diseño de ingeniería o dimensionamiento de equipos, únicamente se realizará un análisis para sustituir unidades que utilizan diésel por unidades que utilicen gas asociado producido en el campo de estudio y la posibilidad de uso del calor residual obtenido de dichos equipos para el proceso de deshidratación de crudo.

3. Antecedentes

El gas asociado corresponde al gas que se encuentra en forma disuelta en el petróleo y se lo extrae junto con él. Se compone principalmente de metano, etano, propano, butano y cantidades pequeñas de dióxido de carbono y en algunos casos de nitrógeno y ácido sulfhídrico. Su composición puede variar considerablemente dependiendo de la región geográfica, del tipo y profundidad del yacimiento (Pieprzyk y Rojas, 2015).

Durante la extracción y producción de petróleo se obtienen grandes cantidades de gas asociado, el cual en la gran mayoría de los campos petroleros del Ecuador no se utiliza y se lo quema en flares, generando importantes cantidades de emisiones de CO₂ a la atmósfera, provocando la contaminación al medio ambiente.

El campo de estudio cuenta con algunas facilidades en las cuales se lleva a cabo la producción de petróleo. Posee diferentes locaciones que cuentan con varios pozos (perforación en racimo) que requieren de un sistema de levantamiento artificial mediante bombeo electro sumergible. La producción obtenida (crudo + agua + gas asociado) en cada pozo converge en el manifold y a través de una línea de flujo de 20 pulgadas¹ se envía el fluido hacia la estación de producción.

La estación de producción cuenta con las facilidades necesarias para la separación del fluido en petróleo, agua y gas asociado, y el almacenamiento y transferencia del petróleo.

Como primer paso, el fluido es direccionado hacia 5 separadores bifásicos de 80.000 bbl², cuya principal función es separar la fase líquida (crudo + agua) de la fase gaseosa. La presión de operación de estos equipos es de 30 psi³.

Una vez separado el gas del líquido, aproximadamente el 68% del gas asociado es direccionado hacia la refinería, el 50% del gas que queda en campo es utilizado como combustible por cinco turbinas para la generación de energía eléctrica, y el resto del gas no es aprovechado y es enviado al flare para ser quemado. La fase líquida (crudo + agua) es enviada a una bota de gas donde se separa el gas remanente que se conecta al flare y la fase líquida pasa al tanque de lavado.



Figura 1: Flares (antorchas) de quema de gas asociado

En el tanque de lavado de 50.000 bbl se realiza la deshidratación del crudo que consiste en la separación de agua y petróleo por diferencia de densidades. El crudo ingresa al tanque a una temperatura de 110 °F (43,3 °C). Para realizar una separación adecuada entre

¹ 1 pulgada= 2,54 cm

² 1 bbl = 0,15897 m³

³ 1 psi = 0,06895 bar

el agua y el petróleo se requiere mantener una temperatura en el fluido entre 110 °F o superior.

Una vez separada el agua del petróleo, el agua va hacia la parte inferior del tanque manteniendo un colchón de agua no menor a 8 ft⁴, el resto del fluido se transfiere hacia 3 tanques de agua de 20.000 bbl cada uno, de los cuales se direcciona el agua hacia los pozos re inyectores para su disposición final en el yacimiento.

Por la parte superior del tanque de lavado se evacua el petróleo que es enviado a 2 tanques de almacenamiento de crudo cada uno con una capacidad de 50.000 bbl para su posterior transferencia a través de una línea de flujo de 20 pulgadas hacia el Sistema de Oleoductos Transecuatorianos.

4. Lugar de Estudio

El campo petrolero propuesto para el análisis de sustitución de motogeneradores a diésel por motogeneradores que utilizan gas asociado para la generación de energía eléctrica se encuentra ubicado en el oriente ecuatoriano en la provincia de Sucumbíos a 303 m.s.n.m.

El clima de la región amazónica presenta temperaturas elevadas, humedad relativa alta y precipitaciones abundantes durante todo el año, que van en un rango de 1.000 a 6.000 mm. En los meses de abril, mayo, junio y julio se presentan intensas lluvias, mientras que los meses de diciembre a febrero son los más secos. La humedad relativa promedio es del 89%. En la provincia, la temperatura se encuentra en un rango de 25 a 26,2 °C, siendo los meses de junio y julio donde se presentan los valores más bajos de temperatura media mensual y los meses con temperaturas altas son diciembre y enero (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Sucumbíos, 2015).

Para este estudio se reserva el nombre de la empresa y campo petrolero por motivos de confidencialidad, por lo cual se definirá al campo de estudio como campo K.

5. Producción del campo K

- **Petróleo**

El campo K posee una producción anual de 4.222.146,82 m³ de petróleo, la cual es obtenida de los 210 pozos que se encuentran en todo el campo.

⁴ 1 ft = 0,3048 m

Mes	bbl/día	bbl / mes	m ³ /mes	m ³ /h	kg/h
Enero	78.650,14	2.438.154,34	387.635,59	521,02	460.948,46
Febrero	68.991,77	1.931.769,56	307.126,83	457,03	404.343,21
Marzo	66.622,05	2.065.283,55	328.353,86	441,34	390.454,88
Abril	68.500,07	2.055.002,10	326.719,24	453,78	401.461,48
Mayo	68.555,42	2.125.218,02	337.882,68	454,14	401.785,87
Junio	75.164,65	2.254.939,50	358.506,75	497,93	440.520,89
Julio	77.266,71	2.395.268,01	380.817,20	511,85	452.840,53
Agosto	74.822,79	2.319.506,49	368.772,08	495,66	438.517,33
Septiembre	72.990,66	2.189.719,80	348.137,65	483,52	427.779,69
Octubre	73.078,11	2.265.421,41	360.173,24	484,10	428.292,21
Noviembre	74.065,41	2.221.962,30	353.263,80	490,64	434.078,52
Diciembre	74.008,32	2.294.257,92	364.757,88	490,27	433.743,93
Promedio	72.726,34	2.213.041,92	351.845,57	481,77	426.230,58
Total	872.716,10	26.556.503,00	4.222.146,82	5.781,28	5.114.767,01

Tabla 1: Producción de petróleo

- **Agua de producción**

En la extracción y producción de petróleo se obtiene agua, la cual es separada del petróleo durante el proceso de deshidratación realizado en el tanque de lavado. Esta agua es reinyectada en el yacimiento una vez que ha sido tratada químicamente. El volumen de agua de producción al año es de 11.402.383,09 m³.

Mes	bbl/día	bbl/ mes	m ³ /mes	m ³ /h	kg/h
Enero	214.519,86	6.650.115,69	1.057.283,97	1.421,08	1.421.080,60
Febrero	183.175,24	5.128.906,58	815.431,03	1.213,44	1.213.439,03
Marzo	163.952,96	5.082.541,61	808.059,59	1.086,10	1.086.101,60
Abril	162.168,93	4.865.067,87	773.484,02	1.074,28	1.074.283,37
Mayo	172.618,58	5.351.175,86	850.769,02	1.143,51	1.143.506,75
Junio	207.203,35	6.216.100,47	988.281,06	1.372,61	1.372.612,58
Julio	207.659,19	6.437.435,01	1.023.470,44	1.375,63	1.375.632,31
Agosto	202.532,21	6.278.498,57	998.201,56	1.341,67	1.341.668,77
Septiembre	207.647,34	6.229.420,14	990.398,71	1.375,55	1.375.553,77
Octubre	209.769,73	6.502.861,72	1.033.872,45	1.389,61	1.389.613,51
Noviembre	216.042,84	6.481.285,20	1.030.442,06	1.431,17	1.431.169,53
Diciembre	209.529,65	6.495.419,15	1.032.689,18	1.388,02	1.388.023,09
Promedio	196.401,66	5.976.568,99	950.198,59	1.301,06	1.301.057,07
Total	2.356.819,87	71.718.827,87	11.402.383,09	15.612,68	15.612.684,90

Tabla 2: Producción de agua

- **Gas Asociado**

La producción anual de gas asociado es de 283.663.531 Nm³. Del cual el 68% de gas asociado es enviado para refinación, el 16% es utilizado por 5 turbinas para la generación de electricidad y el resto de gas es conducido al flare para quemarlo.

Mes	Mscf/día	Mscf/mes	Nm ³ /día	Nm ³ /mes	Nm ³ /h
Enero	31.715,17	983.170,27	898.173,61	27.843.382,05	37.423,90
Febrero	28.176,21	788.933,88	797.950,27	22.342.607,48	33.247,93
Marzo	24.091,92	746.849,52	682.283,17	21.150.778,41	28.428,47
Abril	23.425,06	702.751,80	663.397,70	19.901.930,98	27.641,57
Mayo	25.146,22	779.532,82	712.140,95	22.076.369,46	29.672,54
Junio	26.683,22	800.496,60	755.668,79	22.670.063,71	31.486,20
Julio	26.836,05	831.917,55	759.996,94	23.559.905,02	31.666,54
Agosto	26.769,25	829.846,75	758.105,16	23.501.259,96	31.587,72
Septiembre	30.930,26	927.907,80	875.944,96	26.278.348,90	36.497,71
Octubre	28.193,03	873.983,93	798.426,61	24.751.224,90	33.267,78
Noviembre	28.724,00	861.720,00	813.463,68	24.403.910,40	33.894,32
Diciembre	28.685,70	889.256,70	812.379,02	25.183.749,74	33.849,13
Promedio	27.448,01	834.697,30	777.327,57	23.638.627,58	32.388,65
Total	329.376,09	10.016.367,62	9.327.930,87	283.663.531,00	388.663,79

Tabla 3: Producción de gas asociado

6. Características del petróleo y gas asociado

El petróleo producido en el campo K es de tipo mediano, con un ° API de 28,3 y posee las siguientes características.

Tipo de crudo	Crudo Oriente
Contenido de azufre	1,11%
BSW Contenido de agua	0,4%
°API	28,3
Densidad	884,71 kg/m ³
Viscosidad	55,47 cSt ⁵

Tabla 4: Características del petróleo

⁵ 1 cSt = 10⁻⁶ m²/s

Del análisis de cromatografía se obtiene las características del gas asociado.

Muestra de salida de separadores	
Presión psi (bar)	40 (2,76)
Temperatura °F (°C)	120 (48,9)
Parámetros	Fracción Molar %
Nitrógeno	7,37
Metano	62,45
Dióxido de Carbono	6,28
Etano	7,14
Agua	1,46
Propano	8,84
i-Butano	1,79
n-Butano	3,02
i-Pentano	0,84
n-Pentano +	0,59
n-Hexano +	0,13
n-Heptano+	0,08

Tabla 5: Análisis de cromatografía de gas

Propiedades del gas a 14.7 psi & 60 °F		
Gross Heating Value (PCS)	1.125,9	BTU / ft ³
Net Heating Value (PCI)	1.021,7	BTU / ft ³
Peso Molecular	25,3	lb/lb-mol
Factor de compresibilidad	0,9945	
Densidad	0,067	lb / ft ³
Gravedad específica respecto al aire	0,8775	
Densidad	1,0739	kg / Nm ³
PCI	10,57	kWh/Nm ³

Tabla 6: Propiedades del gas en condiciones estándar

7. Situación actual de generación eléctrica campo K

La generación de energía eléctrica en el campo se obtiene a partir de:

a) Turbinas

Operan 5 turbinas de manera continua. El combustible con el que opera cada turbina es gas asociado. Únicamente paran operación por motivos de mantenimiento el cual se encuentra programado para cada turbina o en caso de requerir mantenimiento correctivo.

b) Motogeneradores a diésel tipo Wartsila

El campo dispone de 8 unidades de motogeneradores Wartsila que trabajan de manera continua y realizan paradas de acuerdo con el programa de mantenimiento establecido para cada equipo. El combustible que utilizan es diésel, el cual es adquirido a la empresa encargada del refino del petróleo.

Tanto en el caso de las turbinas como en el de los motogeneradores a diésel el calor residual de los gases de escape no es aprovechado. Los gases de combustión son emitidos a la atmósfera cumpliendo con los límites permisibles de los parámetros establecidos por la legislación ambiental ecuatoriana.

c) Sistema eléctrico interconectado

Un gran porcentaje de la energía eléctrica requerida en campo es solventado por el sistema eléctrico interconectado, el cual provee de electricidad a los diferentes campos petroleros del oriente ecuatoriano.

Equipo	Potencia eléctrica MW	Energía eléctrica MWh/año	Consumo de combustible anual	Unidad	Tipo de combustible	Horas de operación anuales
Turbina a gas (5 unidades)	9,35 1,87 (unidad)	79.837	45.124.066	Nm ³	Gas asociado	42.695
Unidades Wartsila (8 unidades)	9,6 1,2 (unidad)	75.542	19.767	m ³	Diésel	62.952
Sistema eléctrico interconectado	21,60	189.216	-	-	-	
Total	40,55	344.596	-	-	-	-

Tabla 7: Generación de energía eléctrica campo K

8. Demanda de Energía

La demanda promedio de potencia eléctrica que requiere el campo actualmente es de 40,48 MW, la cual es necesaria para los procesos de extracción, procesamiento y producción de petróleo, así como para las actividades que se realiza en el campamento en el cual permanecen aproximadamente 300 personas por jornada de trabajo.

Demanda media de potencia diaria (MW)	Potencia promedio (MW)
40,48	40,55

Tabla 8: Demanda actual

9. Balance de energía eléctrica actual

La generación de energía eléctrica proporcionada por las 5 turbinas y los 8 motogeneradores Wartsila representa el 47% del total de la energía consumida en campo.

Para cubrir la demanda de energía, el campo recibe en promedio 21,60 MW del sistema eléctrico interconectado, el cual provee de energía eléctrica a todos los campos petroleros que no puedan cubrir su demanda. El sistema recibe energía de los campos cuya infraestructura de generación eléctrica es superior a su demanda.

Se realizó la recopilación mensual de un año del consumo de combustible, energía eléctrica generada y horas de funcionamiento de las turbinas y motogeneradores Wartsila que se encuentran funcionando actualmente.

d) Generación eléctrica obtenida de turbina de gas

Las 5 turbinas utilizan como combustible el gas asociado obtenido en la producción de petróleo del campo K. Aportan con el 23% del total de energía eléctrica consumida.

PCI	10,57	kWh/Nm ³
Densidad	1,0739	kg/Nm ³

Tabla 9: Datos gas asociado campo K

Mes	Consumo mensual de combustible	Energía eléctrica generada	Horas de funcionamiento
	Nm³	MWh	h
Enero	3.915.858	7.456	3.655
Febrero	3.508.421	5.508	3.240
Marzo	3.508.508	7.282	3.605
Abril	3.964.013	7.049	3.560
Mayo	3.564.937	7.477	3.720
Junio	3.295.044	5.390	3.080
Julio	4.218.705	7.589	3.720
Agosto	4.203.008	6.956	3.720
Septiembre	3.854.184	5.335	3.420
Octubre	4.190.871	6.607	3.650
Noviembre	2.750.667	6.381	3.605
Diciembre	4.149.850	6.808	3.720
Total	45.124.066	79.838	42.695

Tabla 10: Generación de energía eléctrica de 5 turbina a gas

e) Generación eléctrica obtenida de motogeneradores a diésel Wartsila

El aporte de energía eléctrica de los 8 motogeneradores Wartsila es del 24% de energía eléctrica consumida.

PCI	9.817,6	kWh/m ³
Densidad	832	kg/m ³

Tabla 11: Datos diésel (gasóleo)

Mes	Consumo mensual de combustible	Energía eléctrica generada	Horas de funcionamiento
	m ³	MWh	h
Enero	1.717	7.133	5.944
Febrero	1.700	6.432	5.360
Marzo	1.855	7.104	5.920
Abril	1.729	6.912	5.760
Mayo	1.703	6.893	5.744
Junio	1.873	6.912	5.760
Julio	1.596	5.827	4.856
Agosto	1.866	7.123	5.936
Septiembre	1.842	6.854	5.712
Octubre	1.927	7.114	5.928
Noviembre	605	2.208	1.840
Diciembre	1.354	5.030	4.192
Total	19.767	75.542	62.952

Tabla 12: Generación de energía eléctrica de 8 motogeneradores Wartsila

10. Situación propuesta en el estudio para generación de energía eléctrica

10.1 Generación de energía eléctrica

Se analiza la sustitución de motogeneradores a diésel (Wartsila) por motogeneradores que utilizan gas asociado (Waukesha).

En campo se disponen de 5 unidades de motogeneradores Waukesha modelo VHP7044GSI, los cuales no están en funcionamiento actualmente.

Marca/ Modelo Motor	Waukesha/ VHP7044 GSI
Voltaje nominal V	480
Potencia nominal kW	1200
Amperaje de operación (A)	1526
Tipo de combustible	Gas asociado

Tabla 13: Características generador Waukesha

Se propone que los 5 motores Waukesha trabajen de manera continua, con lo cual la energía eléctrica anual generada será de 52.560 MWh.

Mes	Consumo de combustible	Energía eléctrica generada	Horas de funcionamiento
	Nm3/mes	MWh	h
Enero	1.365.877	4.464	3.720
Febrero	1.233.695	4.032	3.360
Marzo	1.365.877	4.464	3.720
Abril	1.321.816	4.320	3.600
Mayo	1.365.877	4.464	3.720
Junio	1.321.816	4.320	3.600
Julio	1.365.877	4.464	3.720
Agosto	1.365.877	4.464	3.720
Septiembre	1.321.816	4.320	3.600
Octubre	1.365.877	4.464	3.720
Noviembre	1.321.816	4.320	3.600
Diciembre	1.365.877	4.464	3.720
Total	16.082.100	52.560	43.800

Tabla 14: Propuesta de generación eléctrica 5 motores Waukesha

Con la potencia eléctrica proporcionada por los 5 motogeneradores Waukesha (6 MW), y considerando la potencia eléctrica entregada actualmente por los 8 motores Wartsila, la sustitución de equipos será de la siguiente manera:

- 5 motogeneradores Waukesha trabajarán continuamente, los cuales sustituirán a 4 unidades Wartsila.
- 3 motogeneradores Wartsila se mantendrán operativos de manera continua.
- 1 motogenerador Wartsila quedará como back up (reserva) para emergencias.

Equipo	Potencia eléctrica MW	Energía eléctrica (MWh)	Consumo anual de combustible	Unidad	Tipo de combustible
3 unidades Wartsila	3,6	28.328	7.413	m ³	Diésel
5 unidades Waukesha	6	52.560	16.082.100	Nm ³	Gas asociado
Total	9,6	80.888	-	-	-
1 unidad Wartsila	1,5 back up	-	-	-	Diésel

Tabla 15: Sustitución de equipos a diésel por equipos a gas asociado

La propuesta establece disponer en campo de 8 motogeneradores operativos continuamente, 3 que funcionan con diésel y 5 que funcionan con gas asociado. Adicional se contará con 1 motogenerador a diésel como unidad back up para emergencias.

10.2. Aprovechamiento de gas asociado

Para el cálculo del volumen de gas asociado requerido para el funcionamiento de los 5 motogeneradores Waukesha se utilizaron los datos obtenidos de la hoja técnica del equipo VHP7044 GSI (Anexo 1).

Consumo de combustible unidad Waukesha	3881	kW
PCI gas asociado campo K	10,57	kWh/Nm ³
Consumo de combustible diario	8812,11	Nm ³ /día

Tabla 16: Datos consumo de gas asociado

En la tabla 17 se describe la producción anual de gas asociado obtenido a partir de la producción de petróleo en el campo K, el consumo actual de las 5 turbinas, el consumo que requerirán los 5 motogeneradores Waukesha al realizar la sustitución de 4 equipos a diésel, y el porcentaje de aprovechamiento futuro del gas asociado que no es enviado a refinación.

El 68% de la producción total de gas asociado es direccionado hacia la refinería, del volumen de gas asociado que no es enviado a refinación, aproximadamente el 50% es utilizado como combustible por las 5 turbinas que generan energía eléctrica y el porcentaje del gas restante no es utilizado y actualmente es quemado en el flare.

Con la propuesta establecida de sustitución de motogeneradores a diésel por motogeneradores que funcionen con gas asociado, se requerirá un volumen de 16.082.100 Nm³ al año, obteniendo un incremento del 17% en el aprovechamiento de gas asociado, el cual actualmente es quemado.

Con el uso de las 5 turbinas y los 5 motores Waukesha el aprovechamiento de gas asociado que no es enviado a refinación será del 67%, reduciendo de esta manera el volumen de gas que se está quemando en el flare.

Situación gas asociado	Nm ³ /año
Producción de gas asociado	283.663.531
Gas asociado no enviado a refinación	90.772.330
Consumo de gas asociado de 5 turbinas	45.124.066
Uso de gas asociado en generación eléctrica (5 turbinas)	50%
Consumo de gas asociado de 5 unidades Waukesha	16.082.100
Consumo total de gas asociado a futuro	61.206.166
Gas asociado aprovechado a futuro	67%

Tabla 17: Aprovechamiento de gas asociado

10.3. Situación actual vs Situación futura

Con la sustitución de los motogeneradores a diésel por motogeneradores a gas asociado, la situación futura para la generación de energía eléctrica en el campo K será la siguiente:

- 5 turbinas que funcionan con gas asociado. Su funcionamiento se mantiene igual que en la situación actual.
- Sustitución de 4 motores Wartsila que funcionan con diésel. Permanecen en campo 4 unidades, de las cuales 3 funcionarán continuamente con una potencia total de 3.6 MW.
- 5 motores Waukesha que funcionan con gas asociado las cuales cubrirán la potencia obtenida de las 4 unidades Wartsila que se retirarán de operación. Los 5 motores Waukesha funcionarán continuamente con una potencia total de 6 MW.
- 1 motor Wartsila que permanecerá como equipo back up para ser utilizado en emergencia.

El resto de energía eléctrica se solventará con el aporte del sistema eléctrico interconectado, como se realiza actualmente.

Equipo	Potencia eléctrica MW	Energía eléctrica MWh/año	Consumo combustible anual	Unidad	Tipo de combustible	Horas anuales
Turbina a gas (5 unidades)	9,35 1,87 (unidad)	79.838	45.124.066	Nm ³	Gas asociado	42.695
Unidades Wartsila (3 unidades)	3,6 1,2 (unidad)	28.328	7.413	m ³	Diésel	26.280
Unidades Waukesha (5 unidades)	6 1,2 (unidad)	52.560	16.082.100	Nm ³	Gas asociado	43.800
Sistema eléctrico interconectado	21,60	189.216	-	-	-	-
Total	40,55	349.942				
1 motor Wartsila	1,5 Back up	-	-	-	Diésel	-

Tabla 18: Resumen de propuesta

11. Determinación de ahorro de combustible

- **Situación actual**

Se analiza la situación actual del consumo de combustible de las turbinas y motogeneradores Wartsila que operan continuamente en campo para la generación de energía eléctrica.

Equipo	Potencia eléctrica total (MW)	Consumo de combustible anual	Unidad	Tipo de combustible
5 turbinas	9,35	45.124.066	Nm ³	Gas asociado
8 unidades Wartsila	9,60	19.767	m ³	Diésel

Tabla 19: Situación actual consumo de combustible

- **Situación propuesta**

Con el retiro de 4 unidades de motogeneradores Wartsila y la puesta en operación de 5 unidades Waukesha el consumo de combustible anual será:

Equipo	Potencia eléctrica total (MW)	Consumo de combustible anual	
		Gas asociado (Nm³)	Diésel (m³)
5 turbinas	9,35	45.124.066	-
3 unidades Wartsila	3,6	-	7.413
5 unidades Waukesha	6	16.082.100	-
Total		61.206.166	7.413

Tabla 20: Situación propuesta

- **Ahorro de combustible**

El ahorro de combustible se evidencia en la disminución de consumo de diésel al retirar de operación 4 unidades y dejar 3 en funcionamiento continuo y una unidad con back up.

Con respecto al gas asociado, su consumo se incrementará, sin embargo, al ser generado en el mismo campo no representa un coste económico por compra de combustible como en el caso del diésel, además se aprovechará en mayor porcentaje un recurso energético que actualmente no es utilizado.

Situación	Consumo de diésel (m ³)	Factor de conversión tep/m ³	Toneladas equivalentes de petróleo (tep)	Coste anual de diésel (USD)
Actual	19.767	0,98	19.372	10.748.196
Futura	7.413		7.265	4.030.777
Ahorro	12.354		12.107	6.717.419

Tabla 21: Ahorro económico de combustible diésel

Con los datos de la tabla 21, se puede observar que existe un ahorro significativo en cuanto al consumo de diésel en tep el cual se ve reflejado también en un ahorro económico.

12. Análisis de emisiones de CO₂

Se realiza el cálculo de las emisiones de CO₂ generadas actualmente por los equipos que brindan energía eléctrica en el campo K, y de las emisiones que se generarán al realizar la sustitución de 4 motogeneradores a diésel, para lo cual se emplearon los factores de emisión de acuerdo con el combustible utilizado conforme lo descrito en la Guía Práctica de la Oficina Catalana de Cambio Climático de Cataluña.

El cálculo de las emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica se realiza utilizando el factor de emisión en kg CO₂/kWh para cada tipo de combustible consumido. Para el caso del cálculo de emisiones por quema de combustible, que corresponde al gas asociado quemado en el flare se utilizará el factor de emisión expresado en kg CO₂/Nm³ (Oficina Catalana de Cambio Climático, 2018).

- **Situación actual**

Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica					
Equipo	Potencia eléctrica MW	Energía eléctrica kWh	Tipo de combustible	Factor de emisión kg CO ₂ /kWh	Emisión de tCO ₂ /año
5 turbinas	9,35	79.838	Gas asociado	0,20	15.968
8 unidades Wartsila	9,60	75.542	Diésel	0,27	20.396
Emisiones por la quema de combustible					
Equipo	Volumen de combustible quemado en flare		Tipo de combustible	Factor de emisión kg CO ₂ /Nm ³	Emisión de tCO ₂ /año
Flare	45.648.263,56		Gas asociado	2,15	98.144
Total de emisiones actuales tCO₂					134.508

Tabla 22: Emisiones actuales de CO₂

- **Situación propuesta**

Emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica					
Equipo	Potencia eléctrica MW	Energía eléctrica kWh	Tipo de combustible	Factor de emisión kg CO₂/kWh	Emisión de tCO₂/año
5 turbinas	9,35	79.838	Gas asociado	0,20	15.968
3 unidades Wartsila	9,60	28.328	Diésel	0,27	7.649
5 unidades Waukesha	6	52.560	Gas asociado	0,20	10.512
Emisiones por la quema de combustible					
Equipo	Volumen de combustible quemado en flare		Tipo de combustible	Factor de emisión kg CO₂/Nm³	Emisión de tCO₂/año
Flare	29.566.163		Gas asociado	2,15	63.567
Total de emisiones futuras en tCO₂					97.695

Tabla 23: Emisiones futuras de CO₂

- **Reducción de emisiones**

En las tablas 24 y 25 se muestra que existe una reducción de emisiones de CO₂ para cada tipo de combustible. Un 21% en el caso del gas asociado, ya que una parte del combustible será empleado para generación de energía eléctrica utilizando motogeneradores a gas y no será quemado en el flare; y un 63% de emisiones de CO₂ proveniente del diésel se verán reducidas, al realizar la sustitución de los equipos.

a) Gas asociado

Situación	Equipo	Emisiones tCO₂/año
Situación actual	5 turbinas	15.968
	Quema de gas asociado no aprovechado	98.144
Situación Propuesta	5 turbinas	15.968
	5 motores Waukesha	10.512
	Quema de gas asociado no aprovechado	63.567
Reducción de emisiones (Actual – Propuesta)		24.065

Tabla 24: Emisiones de CO₂ de gas asociado

b) Diésel

Situación	Equipo	Emisiones tCO ₂ /año
Situación actual	8 motores Wartsila	20.396
Situación Propuesta	3 motores Wartsila	7.649
Reducción de emisiones (Actual – Propuesta)		12.748

Tabla 25: Emisiones de CO₂ de diésel

13. Análisis para el aprovechamiento de gases de escape en proceso de deshidratación de crudo

Adicional a la sustitución de motogeneradores a diésel por motogeneradores que funcionen con gas asociado, parte del estudio es analizar la viabilidad del aprovechamiento de los gases de escape de los motogeneradores Waukesha y utilizar el calor para el calentamiento del fluido durante el proceso de deshidratación de crudo.

Uno de los procesos más importantes en la producción de petróleo es la deshidratación del crudo en el tanque de lavado, ya que es en este proceso donde se realiza la separación del agua y petróleo para obtener un producto que cumpla con las características necesarias para su transferencia y envío a refinación y exportación, es decir que el petróleo no contenga más del 1% de contenido de agua o BSW.

El parámetro más importante para que se lleve a cabo adecuadamente la deshidratación del crudo es la temperatura, puesto que a mayor temperatura la separación crudo – agua será más efectiva, es por esta razón que dentro del estudio se plantea utilizar el calor de los gases de combustión para aumentar la temperatura del fluido que se encuentra dentro del tanque de lavado.

13.1. Potencia térmica del motor Waukesha

Los datos referentes a la potencia térmica de un motogenerador Waukesha se describen en la tabla 26. Los datos fueron obtenidos de la hoja técnica del equipo (Anexo 1).

Potencia térmica	1.143 kW
Potencia térmica (5 unidades)	5.715 kW
Flujo másico de los gases de escape	5.113 kg/h
Temperatura de los gases de escape	637 °C

Tabla 26: Datos del sistema térmico motor Waukesha

13.2. Balance de masa y energía

Al tanque de lavado ingresa un fluido (agua y crudo) para el proceso de deshidratación del crudo. A una altura de 1,5 ft ingresa el fluido, del cual se obtiene el crudo limpio que

sale del tanque a una altura aproximada de 38 ft y el agua sale por una toma a 3 ft de altura.

En este caso se plantea calentar un determinado volumen del agua que se ha separado del crudo, utilizando el calor generado por los gases de escape de los motogeneradores Waukesha a través de un intercambiador de calor, recircular el agua calentada en el tanque, y obtener un incremento en la temperatura del fluido que se encuentra en el tanque de lavado.

▪ **Balance de masa**

Se establece el caudal de entrada (crudo + agua) y los caudales de salida que tendrá el tanque de lavado. Los datos obtenidos son en base a la producción promedio del campo.

$$\dot{m}_e = \dot{m}_c + \dot{m}_a$$

$$479,80 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 118,40 \frac{\text{kg}}{\text{s}} + 361,40 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Caudal de entrada promedio diario kg/s	Caudal de salida promedio diario kg/s	
Fluido	Crudo	Agua
479,80	118,40	361,40

Tabla 27: Balance de masa

▪ **Balance de energía**

Se realiza el balance de energía estableciendo un salto de temperatura de 15 °C entre la temperatura de salida del crudo y la temperatura del agua de recirculación previamente calentada a través de un intercambiador de calor que aprovechará los gases de combustión de los motogeneradores Waukesha.

El calor específico del fluido (crudo + agua) se obtuvo a partir del siguiente cálculo:

$$ce = (\dot{m}_c * cc + \dot{m}_a * ca) / \dot{m}_e$$

$$ce = 0,88 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

Variables conocidas	Temperatura de entrada (Te)	Flujo másico fluido (ṁe)	Flujo másico crudo (ṁc)	Flujo másico agua (ṁa)
		43,3 °C	479,80 kg/s	118,40 kg/s
Variables establecidas ⁶	Temperatura de salida (T)		Temperatura agua de recirculación (T')	
	45,9 °C		60,9 °C	
Calor específico kcal/kg °C	Calor específico agua (ca & ch)		1,00	
	Calor específico crudo (cc)		0,51	
	Calor específico fluido (ce)		0,88	

Tabla 28: Variables balance de energía

Con las variables conocidas y estableciendo las variables de temperatura de salida y temperatura del agua de recirculación, se calcula el flujo másico de agua a recircular que se requiere calentar para incrementar la temperatura dentro del tanque de lavado.

$$\dot{m}_e * c_e * T_e + \dot{m}_h * c_h * T' = \dot{m}_c * c_c * T + \dot{m}_h * c_h * T + \dot{m}_a * c_a * T$$

$$\dot{m}_h = 71,84 \text{ kg/s}$$

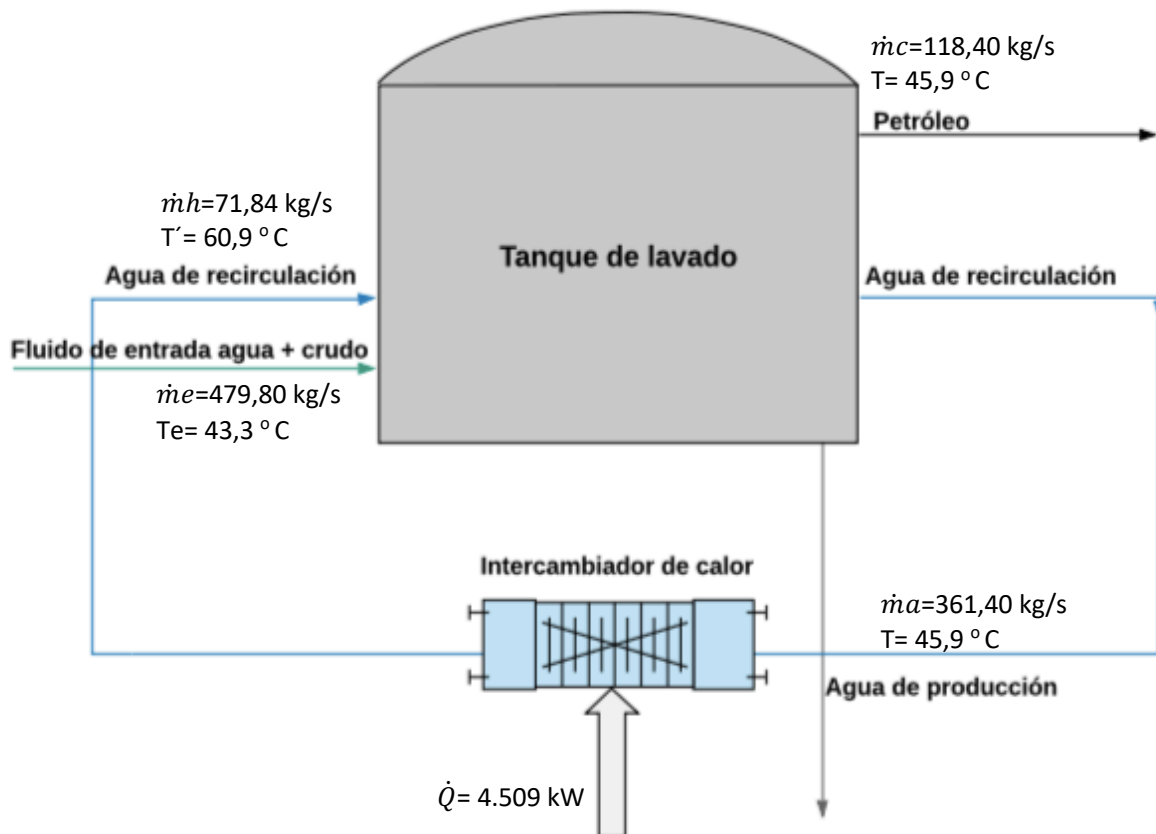


Figura 2: Balance de masa y energía del tanque de lavado

⁶ Salto de temperatura entre T y T' es de 15 °C

13.3. Potencia térmica requerida para calentamiento de agua de recirculación

A partir del flujo másico de agua de recirculación se procede a calcular la potencia térmica requerida para calentar el agua.

$$\dot{Q} = \dot{m}h * ch * (T' - T)$$

$$\dot{Q} = 71,84 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (60,9 - 45,9)^\circ\text{C} = 1.078 \frac{\text{kcal}}{\text{s}}$$

Potencia térmica para calentamiento de agua de recirculación	1.078 kcal/s	4.509 kW
--	--------------	----------

Tabla 29: Resultados de potencia térmica requerida

13.4 Uso de la potencia térmica de los motogeneradores Waukesha

Los resultados de caudal y potencia térmica requerida fueron obtenidos a partir de la variación de la temperatura de salida del petróleo (T) y la temperatura del agua de recirculación (T'), siempre considerando un salto de temperatura de 15 °C.

Se debe tomar en cuenta que la potencia térmica disponible de los 5 motogeneradores Waukesha será de 4.515 kW, ya que se establece que la temperatura de salida de los gases de escape, una vez que han transferido su energía calorífica a través del intercambiador de calor, será de 150 °C.

En la figura 3 se señala la temperatura de salida de petróleo (T) que se podrá obtener dependiendo de la potencia térmica requerida.

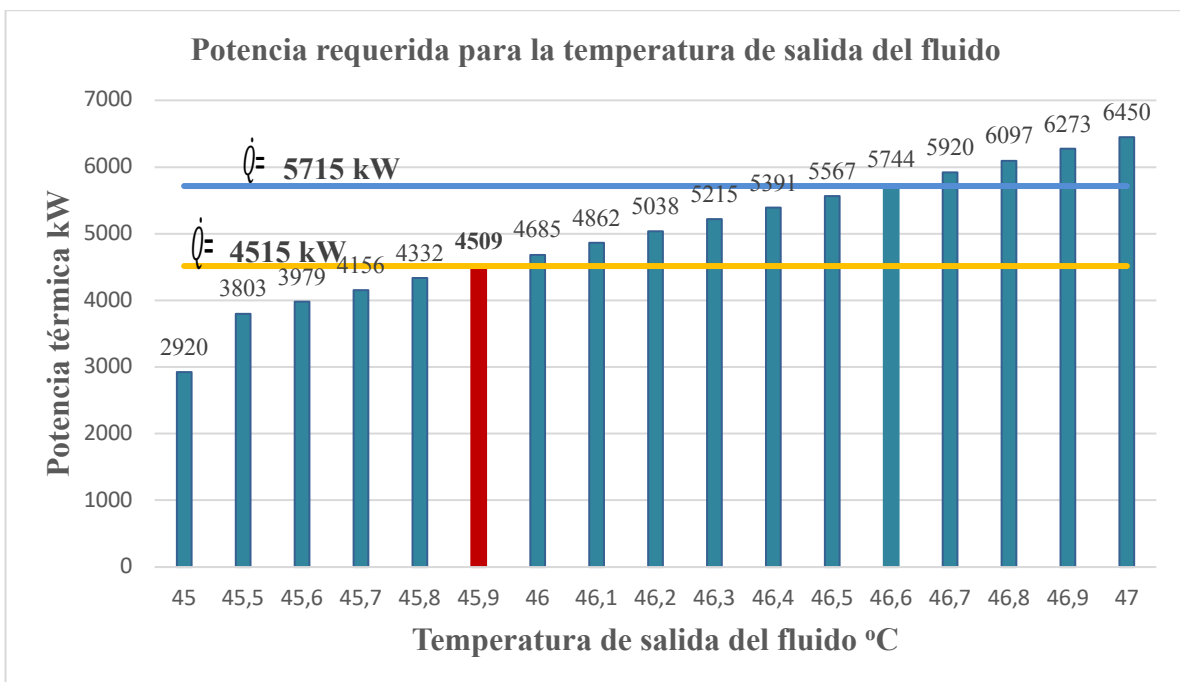


Figura 3: Potencia térmica vs temperatura de salida

En este caso, el incremento de temperatura del fluido una vez que ha sido calentado por el agua de recirculación será de 2,6 °C, ya que la potencia térmica necesaria para obtener la temperatura de salida del fluido a 45,9 °C, es de 4.509 kW que se encuentra dentro del rango de potencia térmica disponible de los 5 motogeneradores Waukesha (4.515 kW).

A pesar de que el incremento de temperatura es pequeño, a través de este análisis se puede observar que es posible aprovechar los gases de combustión para mejorar uno de los procesos más importantes en la producción de petróleo; sin embargo, se requiere realizar más estudios para el dimensionamiento del intercambiador y el aprovechamiento de los gases de escape de las otras unidades de generación eléctrica.

14. Conclusiones

- Es viable la sustitución de unidades a diésel por aquellas que utilizan gas asociado, ya que la puesta en operación de los motogeneradores Waukesha para la generación de energía eléctrica permite dar un uso adecuado a un recurso energético que al momento esta siendo subutilizado.
- Actualmente solo el 50% del gas asociado que no es enviado a refino es aprovechado como combustible para la generación de energía eléctrica, con la puesta en funcionamiento de los 5 motogeneradores Waukesha, el aprovechamiento de gas asociado será del 67% al año.
- Con la sustitución de las unidades de generación eléctrica el volumen de gas asociado que es quemado en el flare se verá reducido; sin embargo, existe aún un volumen de gas asociado que seguirá quemándose, por lo tanto, es factible implementar más motogeneradores que utilicen gas asociado y así aprovechar la mayor cantidad de este recurso energético, lo que implica la reducción del gasto correspondiente a la compra de combustible diésel.
- Uno de los mayores problemas de los campos petroleros son los apagones o shut down de las estaciones y plataformas donde se encuentran los pozos debido a cortes en la energía eléctrica; siendo los campos más afectados los que dependen en gran cantidad del sistema eléctrico interconectado, como es el caso del campo K. Por tal motivo un incremento en la cantidad de unidades que utilicen gas asociado permitirá que el campo sea más autosuficiente en la generación de energía eléctrica, disminuyendo la ocurrencia de apagones y por ende las pérdidas de producción de petróleo.
- Se evidencia un ahorro anual del 62% en el consumo de combustible diésel de 12.107 tep al sustituir la mitad de las unidades que funcionan actualmente con dicho combustible, lo que representa un ahorro significativo en el presupuesto asignado para la compra de diésel de 6.717.419 USD al año.

- Con el aprovechamiento del gas asociado se evitará emitir al medio ambiente 24.065 tCO₂ al año, y al reducir el consumo de combustible diésel por la salida de operación de 4 motogeneradores Wartsila, se dejará de emitir 12.747 tCO₂ al año, lo que representa en una reducción del 21% y 62% respectivamente; de esta manera se aportará favorablemente con las políticas medioambientales referentes a la reducción de emisiones de efecto invernadero y su efecto en el cambio climático.

- Del análisis realizado para el aprovechamiento de gases de escape, se puede determinar que es factible el aprovechamiento del calor que se genera en los gases de escape de los motogeneradores Waukesha; sin embargo, se deberá realizar estudios adicionales para el dimensionamiento de los equipos del sistema de intercambiador de calor, así como estudios para analizar el uso de los gases de escape de las turbinas y motogeneradores a diésel que funcionan en campo actualmente.

15. Bibliografía

- Alfa Laval Aalborg. (2018). *Calor específico medio*. Recuperado de: <http://www.aalborg-industries.com.br/downloads/calor-especifico-medio.pdf>
- Eurostat. (2016). *Glossary: Tonnes of oil equivalent (toe)*. Recuperado de: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Tonnes_of_oil_equivalent_\(toe\)](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Tonnes_of_oil_equivalent_(toe))
- General Electric. (2016). *Waukesha gas engine VHP7104GSI*. Recuperado de: https://www.ge.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en_US/distributed-power-downloads/documents/18922.pdf
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Sucumbíos. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. Sucumbíos, Ecuador.
- Oficina Catalana del Cambio Climático. (2018). *Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH)*. Barcelona, España.
- Pieprzyk, B. Roja, P. (2015). *Quema y venteo de gas asociado de petróleo*. ERA: Enery Research Architecture.
- Villarrubia, M. (2017). *Bases de la Ingeniería Energética*. Barcelona, España.

16. Anexos

Anexo 1

Motogenerador Waukesha modelo VHP7044 GSI

performance data

		Continuous Power	
		60 Hz 1200 RPM	50 Hz 1000 RPM
Intercooler Water Temperature 130°F (54°C)			
	Power kW (heat exchanger/water connection cooling)	1200	1200
	Power kW (radiator cooling)	1150	1050
	BSPC Limit (Btu/whp-hr (kJ/kWh))	7861 (31248)	7603 (30757)
	Fuel Consumption (Btu/hr x 1000 (kW))	13240 (3861)	11709 (3430)
emphat Catalyst-Out Emissions (ISO engine)	NOx g/whp-hr (mg/kwh) @ 5% O ₂	0.5 (185)	
	CO g/whp-hr (mg/kwh) @ 5% O ₂	1.0 (370)	
	MPHC g/whp-hr (mg/kwh) @ 5% O ₂	0.24 (88)	
	THC g/whp-hr (mg/kwh) @ 5% O ₂	1.26 (471)	
Engine-Out Emissions	NOx g/whp-hr (mg/kwh) @ 5% O ₂	13.30 (4822)	12.20 (4518)
	CO g/whp-hr (mg/kwh) @ 5% O ₂	11.20 (4140)	9.20 (3380)
	MPHC g/whp-hr (mg/kwh) @ 5% O ₂	0.35 (123)	0.34 (121)
	THC g/whp-hr (mg/kwh) @ 5% O ₂	2.40 (873)	2.30 (843)
Heat Balance	Heat to Jacket Water (Btu/hr x 1000 (kW))	3849 (1128)	3495 (1024)
	Heat to Lube Oil (Btu/hr x 1000 (kW))	567 (164)	475 (138)
	Heat to Intercooler (Btu/hr x 1000 (kW))	179 (53)	144 (42)
	Heat to Radiation (Btu/hr x 1000 (kW))	724 (212)	456 (132)
	Total Exhaust Heat (Btu/hr x 1000 (kW))	3900 (1143)	3270 (958)
Induced/Exhaust System	Induction Air Flow scfm (m ³ /hr)	2424 (6851)	2111 (6129)
	Exhaust Flow (b/hr (kg/hr))	11273 (5113)	10003 (4537)
	Exhaust Temperature °F (°C)	1179 (637)	1125 (607)
	Radiator Air Flow scfm (m ³ /min) (radiator cooling)	10000 (2832)	8500 (2407)

Rating Standard: The Waukesha Engine ratings are based on ISO 3046/3-1995 with an engine mechanical efficiency of 90% and auxiliary water temperature fixed as specified limited to a 107° (42°C). Ratings also valid for ISO 8528 and DIN 6271, BS 5514 standard atmospheric conditions.

Continuous Power Rating: The highest electrical power output of the Engine available for an unlimited number of hours per year, less maintenance. It is permissible to operate the Engine with up to 10% overload for two hours in each 24 hour period.

All data according to full load and subject to technical development and modification.

emphat catalyst-out emissions valid from 100% - 75% load and 1200 rpm to 900 rpm and assume proper engine/catalyst maintenance and manual adjustment as necessary.

Consult your local GE Power & Water's representative for system application assistance. The manufacturer reserves the right to change or modify without notice, the design or equipment specifications as herein set forth without incurring any obligation either with respect to equipment previously sold or in the process of construction except where otherwise specifically guaranteed by the manufacturer.



GE Power & Water
1101 West 100th Plou Ave
Waukesha, WI 53188-4999
P 1.262.947.3313
F 1.262.949.2799

Visit us online at
www.ge-waukesha.com

©2013 General Electric Company
All Rights Reserved

0254 02A-18602

Abstract

In the present study is analyzed the feasibility for the replacement of 4 Wartsila engines that use diesel as fuel, for 5 Waukesha gas engines that use associated gas for the generation of electrical energy in an oil field in Ecuador. In addition, in the study is analyzed the viability of using the heat from the exhaust gases of the Waukesha engines to be used in the process of oil dehydration.

It describes the annual production of oil, production water and associated gas that the field owns, the current situation of electric power generation that is obtained through gas turbines, diesel engines and the electric interconnected system.

Generator	Electric power MW	Electric energy MWh/year	Annual fuel consumption	Fuel	Annual running hours
5 gas turbines	9,35	79.837	45.124.066 Nm ³	Associated gas	42.695
8 Wartsila	9,6	75.542	19.767 m ³	Diesel	62.952
Electric interconnected system	21,60	189.216	-	-	-
Total	40,55	344.596	-	-	-

Table 1: Current energy generation

Considering the average daily power demand of the field (40.48 MW), the proposal established for the use of associated gas was to put into operation the 5 Waukesha gas engines that will operate continuously with a power of 6 MW, which will replace 4 of the 8 diesel engines, leaving 3 Wartsila diesel engines in operation and 1 as backup for emergencies.

Generator	Electric power MW	Electric energy MWh/year	Annual fuel consumption	Fuel	Annual running hours
5 gas turbines	9,35	79.838	45.124.066 Nm ³	Associated gas	42.695
8 Wartsila	3,6	28.328	7.413 m ³	Diesel	26.280
5 Waukesha	6	52.560	16.082.100 Nm ³	Associated gas	43.800
Electric interconnected system	21,60	189.216	-	-	-
Total	40,55	349.942			
1 Wartsila	1,5 back up	-	-	Diesel	-

Table 2: Proposal energy generation

The study also includes the analysis of fuel savings in which the decrease in diesel consumption is evident by withdrawing from operation 4 Wartsila engines, while for associated gas consumption will increase. However, the gas associated is produced in the field, therefore it does not represent an economic expense for the purchase of fuel, like diesel does, and an energy resource that is currently underutilized will be used.

Situation	Diesel consumption (m ³)	Factor tep/m ³	Tonnes of oil equivalent (toe)	Annual cost of diesel (\$/m ³)
Current	19.767	0,98	19.372	10.748.196
Future	7.413		7.265	4.030.777
Saving	12.354		12.107	6.717.419

Table 3: Diesel fuel saving

The calculation of CO₂ emissions generated and the reduction of CO₂ emissions that will be made in the future by implementing the proposal of replacement diesel engines is:

Situation	Emissions tCO ₂ /year
Current	134.508
Future	97.695
Reduction of CO ₂ emissions	36.813

Table 4: Emissions savings CO₂

Finally, the feasibility of using the heat from the exhaust gases of the Waukesha engines for heating the fluid during the process of oil dehydration is studied. A balance of mass and energy is made, and thermal power required for the increase of 2.6 °C is determined.

Conclusions

- The replacement of diesel units by those that use associated gas is feasible, since the operation of Waukesha engines for the generation of electric power allows an adequate use of an energy resource that is currently underutilized.
- With the replacement of the electric generation units, the volume of associated gas that was burned in the flare will be reduced. Though, there is still a volume of associated gas that will continue to burn, thus, it is feasible to implement more gas engines which implies the reduction of the expense corresponding to the purchase of diesel.
- From the analysis made for the use of exhaust gases, it can be determined that the use of the heat generated in the exhaust gases of the Waukesha engines is feasible; however, additional studies for the sizing of the heat exchanger system should be done, as well as studies to analyze the use of the exhaust gases of the gas turbines and Wartsila engines that work in the field.