



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Petroquímica

“Propuestas Alternativas para el Aprovechamiento del Gas Asociado de un Bloque Petrolero”.

AUTORA: Remache Zambrano, María de los Angeles

DIRECTOR: Urrutia Goyes Ricardo, PhD.







INTRODUCCIÓN



OBJETIVOS



METODOLOGÍA / DESARROLLO



RESULTADOS

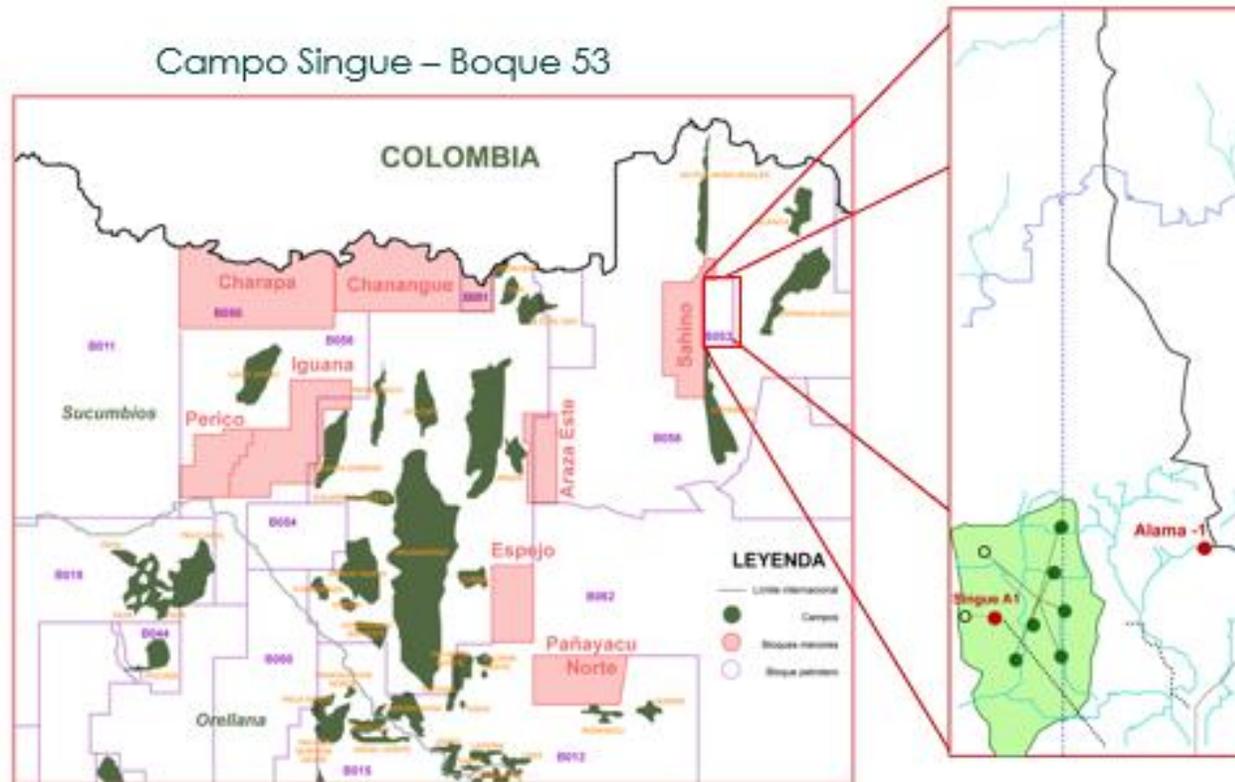


CONCLUSIONES

UBICACIÓN DEL BLOQUE 53

Figura 1.

Ubicación del Campo Singue – Bloque 53.



Campo Singue Bloque 53

Área del Bloque: 3,446 hectáreas.

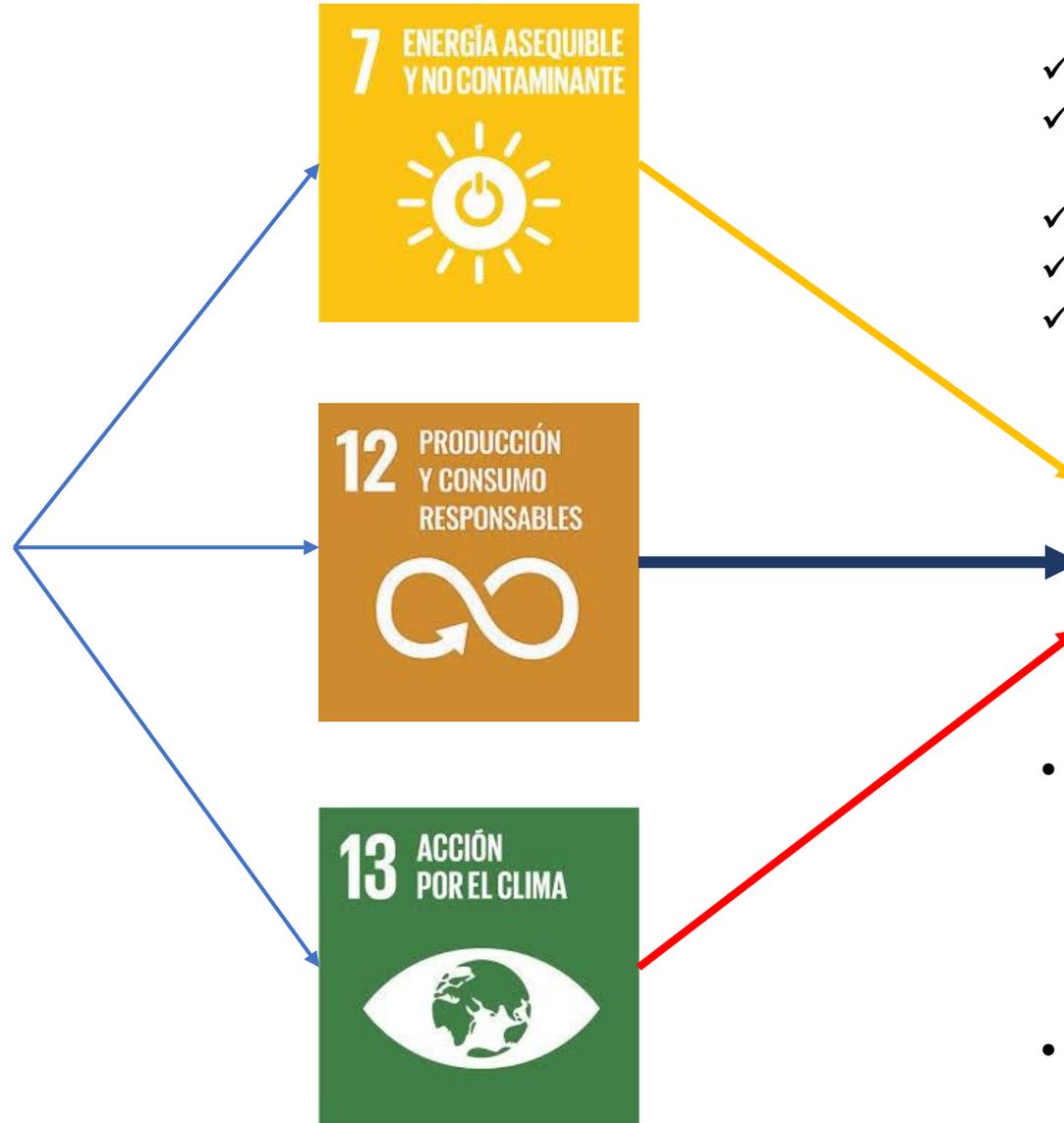
Provincia: Sucumbíos

- Pozo Singue 1 Perforado en 1990

**Campo de la Décima Ronda
Petrolera 2011**

Nota. Información tomada de Gente Oil Ecuador Pte. Ltd.

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)



- ✓ Acuerdo de París
- ✓ Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC)
- ✓ Agencia Internacional de Energía (IEA)
- ✓ Cero emisiones netas (NZE)
- ✓ Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP26)



- **Ecuador se Adhiere a la Iniciativa Mundial ‘Cero Quema Regular de Gas para 2030’**
- **Ecuador reafirma el interés en el ‘Compromiso Mundial por el Metano’ para el 2030**

Revisión
Literaria y
Desarrollo de
Propuestas

**Un Ensayo
cromatográfico**
29 de mayo de 2019

Reportes de producción (1)
5 de noviembre 2021
**Promedio de estimación de
producción (1)**
Nov 2021 – nov 2025

REPORTE DE PRODUCCIÓN - GAS

Figura 3.

Reporte Diario de Producción Bloque 53 - Singue



GENTE OIL ECUADOR PTE. LTD.
BLOQUE 53- SINGUE
REPORTE DIARIO DE PRODUCCIÓN



Agencia de Regulación y Control
de Energía y Recursos Naturales
No Renovables

FECHA **4-nov-21** @ **5-nov-21**

PRODUCCIÓN DÍA (Bls.)	3598,53
CRUDO TRANSFERIDO (Bls.)	3600,61

PRODUCCIÓN (BLS)						
PRODUCCIÓN (BLS)	BRUTO (BPPD)	NETO (BPPD)	AGUA (BPPD)	API	BSR %	GAS (MPCD)
	38861,02	3598,53	35262,49	22,8	90,74	834,44

	CRUDO (BLS)	AGUA (BLS)	GAS (MPC)
ACUMULADO MENSUAL	14350,25	141504,46	3339,38
ACUMULADO TOTAL	11191895,06	33703430,62	3137368,69

Volumen de Gas MPCD

Nota. Información obtenida de Gente Oil Ecuador Pte. Ltd.

Figura 2.

Cromatografía del Gas Asociado del Bloque 53 – Salida del Separador Trifásico

Actual Gas Conditions
 Pressure 3.10 bar a = 45.00 psia
 Temperature 33.89 deg C = 93.00 deg F = 307.04 K

Sum of Given Gas Composition = 100.0010 volume%

Results	Mo1%	Vo1%	wght%
Hydrogen.....H2	0.0000	0.0000	0.0000
Helium.....He	0.0000	0.0000	0.0000
Water Vapor.....H2O	0.0000	0.0000	0.0000
Carbon Monoxide.....CO	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen.....N2	1.0029	1.0160	0.6438
Oxygen.....O2	0.0000	0.0000	0.0000
Hydrogen Sulfide.....H2S	0.0000	0.0000	0.0000
Argon.....Ar	0.0000	0.0000	0.0000
Carbon Dioxide.....CO2	70.1759	70.6503	70.7705
Methane.....CH4	8.0722	8.1619	2.9675
Ethane.....C2H6	2.9908	3.0010	2.0608
Propane.....C3H8	6.4313	6.3809	6.4986
iso-Butane.....i-C4H10	2.1813	2.1180	2.9052
n-Butane.....n-C4H10	4.9527	4.8050	6.5963
neo-Pentane.....neo-C5H12	0.0000	0.0000	0.0000
iso-Pentane.....i-C5H12	0.8740	0.8300	1.4449
n-Pentane.....n-C5H12	1.3746	1.2790	2.2726
n-Hexane.....n-C6H14	1.9445	1.7580	3.8398
n-Heptane.....n-C7H16	0.0000	0.0000	0.0000
n-Octane.....n-C8H18	0.0000	0.0000	0.0000
n-Nonane.....n-C9H20	0.0000	0.0000	0.0000
n-Decane.....n-C10H22	0.0000	0.0000	0.0000
Sulfur Dioxide.....SO2	0.0000	0.0000	0.0000
Cyclopentane.....c-C5H10	0.0000	0.0000	0.0000
Cyclohexane.....c-C6H12	0.0000	0.0000	0.0000
Methylcyclopentane.....CH3-C5H9	0.0000	0.0000	0.0000
Methylcyclohexane.....CH3-C6H11	0.0000	0.0000	0.0000
2,2-Dimethylbutane..2,2-i-C6H14	0.0000	0.0000	0.0000
2,3-Dimethylbutane..2,3-i-C6H14	0.0000	0.0000	0.0000
Benzene.....C6H6	0.0000	0.0000	0.0000
Toluene.....C7H8	0.0000	0.0000	0.0000
o-xylene.....o-C8H10	0.0000	0.0000	0.0000
Sum	100.000	100.000	100.000

Componentes de Gas

Molar Mass	= 43.6402 kg/kmo ¹
Gas Constant	= 190.524 J/(kg*K)
Low Heat Value	= 13.231 MJ/kg = 5688. BTU/lb
High Heat Value	= 14.376 MJ/kg = 6181. BTU/lb

Datos considerados en el estudio



OBJETIVO GENERAL

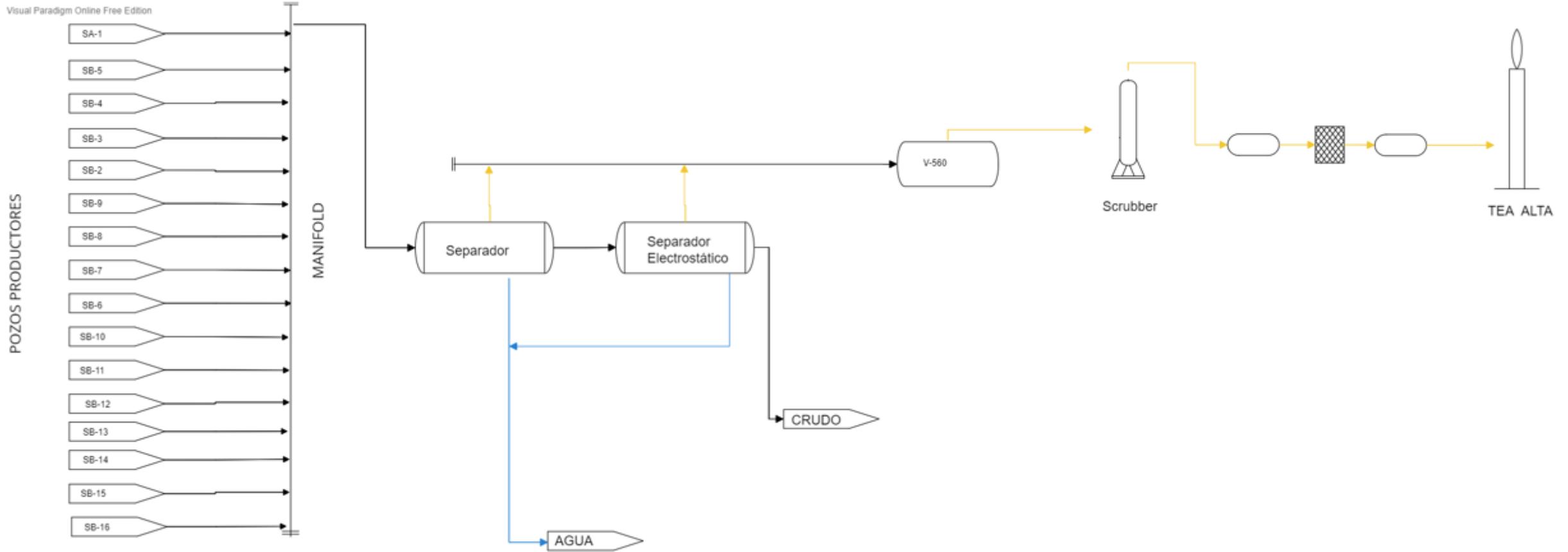
Proponer Alternativas para el Aprovechamiento del Gas Asociado de un Bloque Petrolero.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Plantear el Marco Situacional Actual.
- Analizar la Alternativa de Oxidación Térmica.
- Analizar la Alternativa del uso de Generación Eléctrica a Gas.
- Analizar la Alternativa de Recuperación Mejorada con Inyección de CO₂.
- Comparar y Contrastar las alternativas de solución.

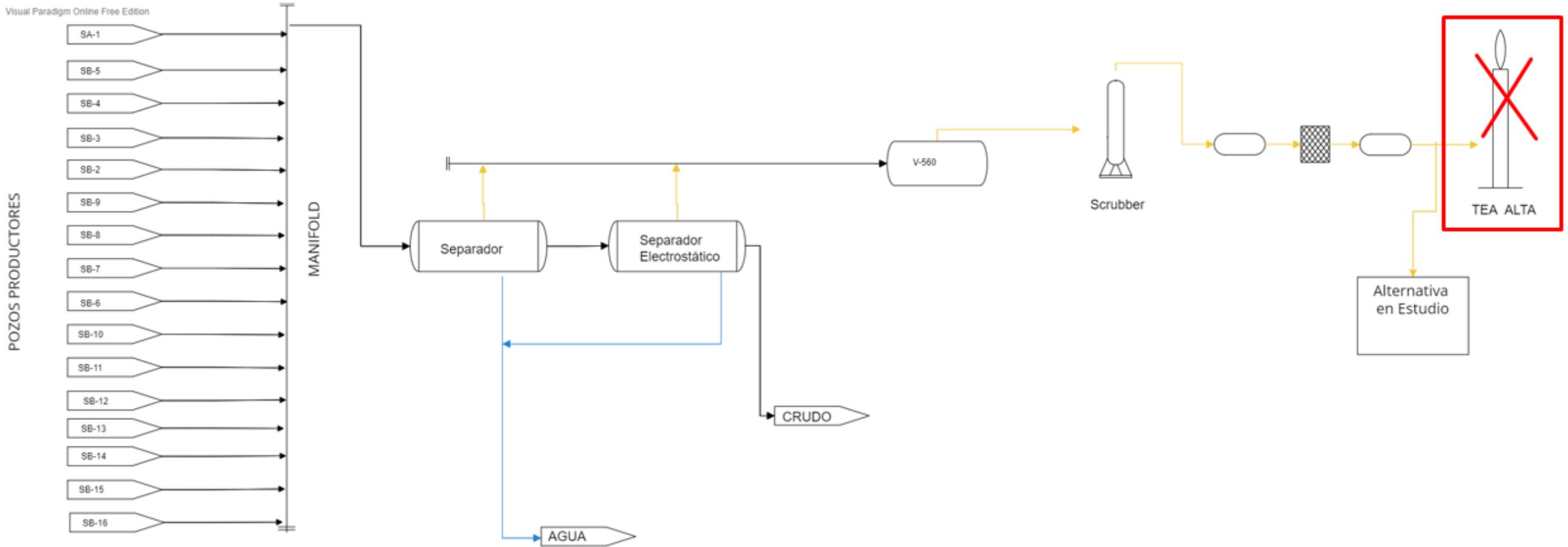


Esquema Referencial Singue B

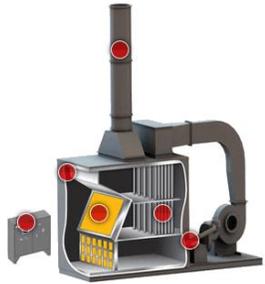


Esquema Referencial Singue B

Visual Paradigm Online Free Edition

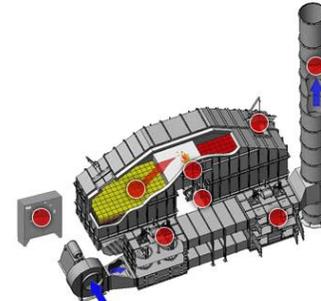


Alternativa de Oxidación Térmica



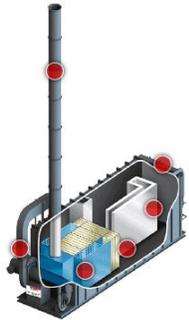
Oxidante Recuperativo Catalítico

CATOX	
Temperatura de Oxidación	(350 - 850) °K
Eficiencia de Destrucción	Hasta 99.9%
Aplicaciones en la Industrias	Pintura, farmacéutica, recubrimiento, impresión, remediación de suelo y aguas.
Recuperación de calor (ahorro de combustible)	65%



Oxidante Recuperativo Regenerativo

RTO	
Temperatura de Oxidación	(1300 - 1500 °K)
Eficiencia de Destrucción	+ 99.9%
Aplicaciones en la Industrias	Pintura, farmacéutica, procesamiento química, impresión y embalaje, decoración de metales
Recuperación de calor (ahorro de combustible)	97%



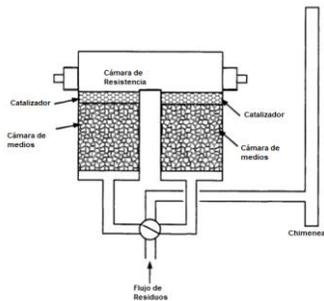
Oxidante Recuperativo Térmico

SIMILAR CATOX	
Temperatura de Oxidación	(350 - 850) °K
Eficiencia de Destrucción	Hasta 99.9%
Aplicaciones en la Industrias	Pintura, farmacéutica, recubrimiento, impresión, Fabricación de semiconductores y electrónica.
Recuperación de calor (ahorro de combustible)	65%, Intercambiadores de calor flexibles



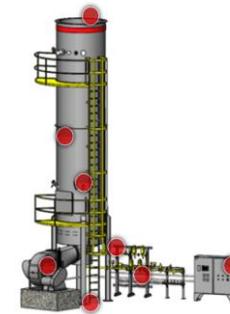
Oxidante Térmico de Fuego Directo

DFTO	
Temperatura de Oxidación	(353 - 1100) °K
Eficiencia de Destrucción	+ 99.9%
Aplicaciones en la Industrias	Petróleo, refinación y petroquímica, procesamiento químico, recubrimiento y fibras de carbono.
Recuperación de calor (ahorro de combustible)	Recuperación de energía del calor residual



Oxidante Catalítico Regenerativo

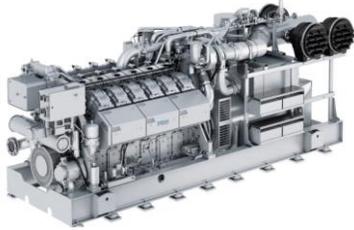
SIMILAR RTO - RCO	
Temperatura de Oxidación	(590 - 700) °K
Eficiencia de Destrucción	Hasta 99.9%
Aplicaciones en la Industrias	Fibra de carbono, recubrimientos, procesamiento químico, pinturas, farmacéutica
Recuperación de calor (ahorro de combustible)	97%, se añade catalizador en las cámaras de medio



Unidad de Combustión de Vapor

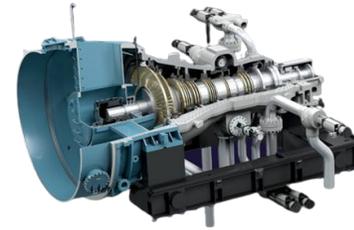
VCU	
Temperatura de Oxidación	(1100 - 1260) °K
Eficiencia de Destrucción	+ 99.9%
Aplicaciones en la Industrias	Procesamiento químico, combustibles renovables, petróleo, refinación y petroquímica
Recuperación de calor (ahorro de combustible)	No aplica

Alternativa del Uso de Cogeneración



Motores alternativos de combustión interna

MOTORES ALTERNATIVOS	
Eficiencia Eléctrica	75 -80%
Capacidad MWe	0,005-10
Combustibles	Gas natural, biogás, GLP, gas residual industrial, gas fabricado
Aplicaciones	Hospitales, instalaciones de tratamientos de agua, transporte, e instalaciones industriales



Turbina de Vapor

TURBINA DE VAPOR	
Eficiencia Eléctrica	75 - 77%
Capacidad MWe	0,5 – varios MW
Combustibles	Vapor de agua y gases de desecho
Aplicaciones	Utilizadas en la industria Oil&Gas, y procesos industriales



Turbina de gas

TURBINA DE GAS	
Eficiencia Eléctrica	50 - 62%
Capacidad MWe	0,5 - 30
Combustibles	Gas natural, gas sintético, gas de vertedero, aceites combustibles
Aplicaciones	Utilizadas en la industria Oil&Gas, gases de alto y bajo poder calorífico



Microturbina

MICROTURBINA	
Eficiencia Eléctrica	49 – 57%
Capacidad MWe	0,03 - 1
Combustibles	Gas natural, gas sintético, líquidos combustibles
Aplicaciones	Utilizadas en la industria Oil&Gas, gases de alto y bajo poder calorífico

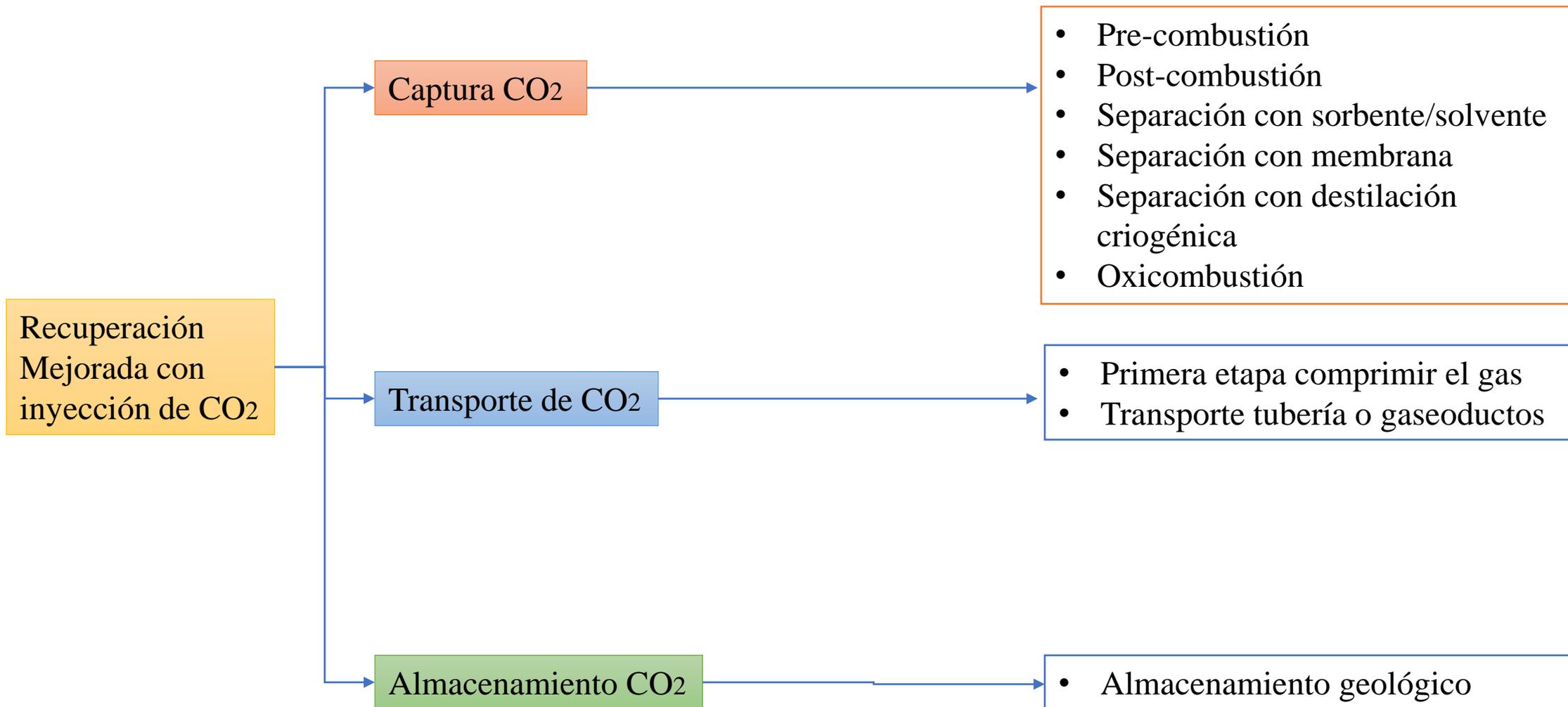


Figura 4.
Cadena de valor del hidrógeno

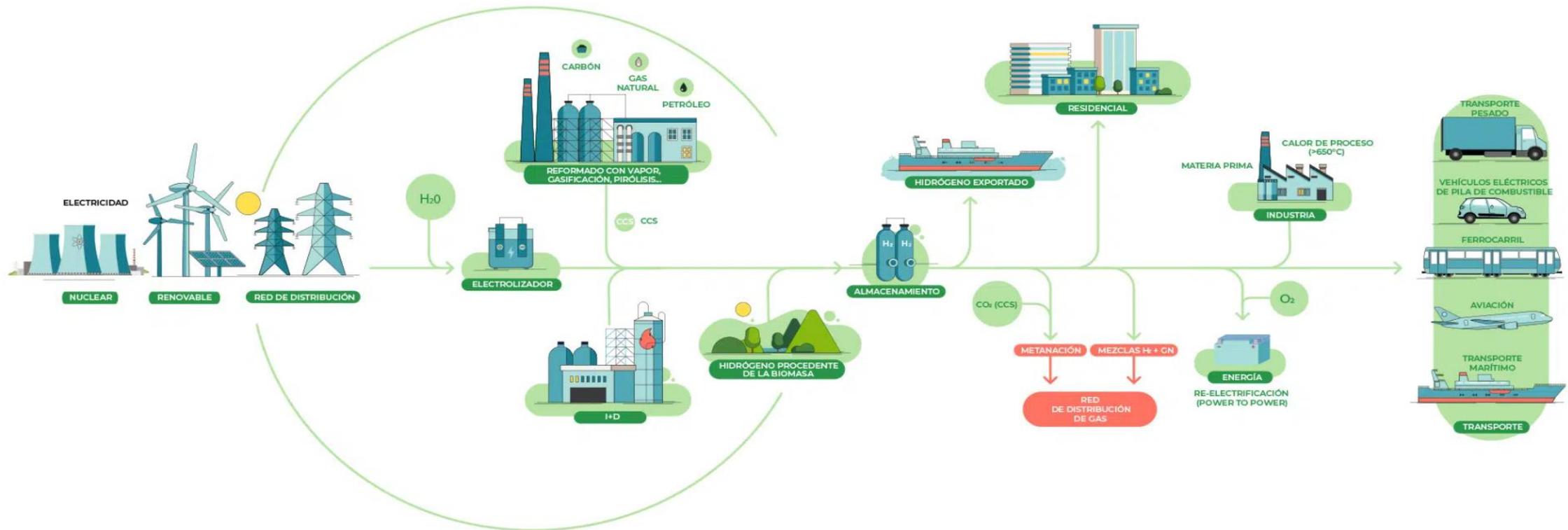


Tabla 1.

Cromatografía del Gas Asociado – Temperaturas y presiones críticas calculadas

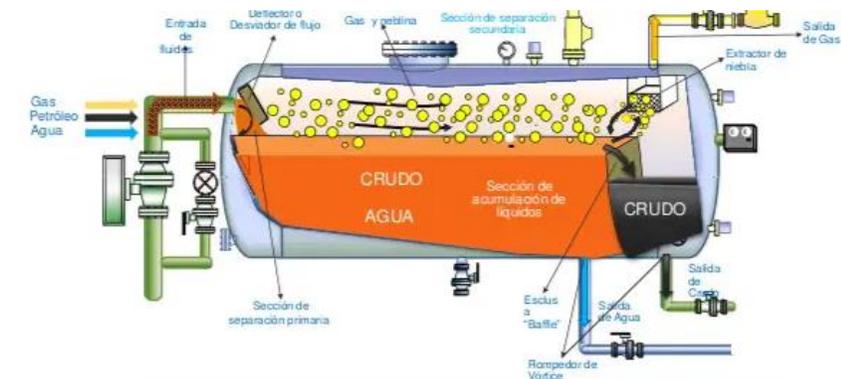
	%Molar	Fracción molar	Tci (°R)	Pci (psia)
Metano	8,072	0,081	343,000	666,400
Nitrogeno	1,003	0,010	227,200	492,800
CO2	70,176	0,702	547,400	1969,500
Etano	2,991	0,030	549,600	706,500
Propano	6,431	0,064	665,700	616,000
Iso-Butano	2,181	0,022	734,100	527,900
N-Butano	4,953	0,050	765,300	550,600
Iso-Pentano	0,874	0,009	828,800	490,400
N-Pentano	1,375	0,014	845,500	488,600
Hexano	1,945	0,019	913,300	436,900

Separador Trifásico V-400

- Temperatura: **307,04 °K**
- Presión: **45 Psia**
- Poder Calorífico: **13,231 MJ/kg**
- Velocidad del gas asociado: **262,409 m/s**
- Rgas: **190,524 J/kgK**
- Diámetro de la Tubería: **8 in**

Figura 5.

Esquema Separador Trifásico



Energía calculada del DFTO / VCU

Tabla 2.
Composición del Gas Asociado del Bloque 53

	%Molar	Fracción molar
Metano	8,072	0,081
Nitrógeno	1,003	0,010
CO2	70,176	0,702
Etano	2,991	0,030
Propano	6,431	0,064
Iso-Butano	2,181	0,022
N-Butano	4,953	0,050
Iso-Pentano	0,874	0,009
N-Pentano	1,375	0,014
Hexano	1,945	0,019

Combustión del aire teórico al 100%
%at = ~112
AC= 4,479 kg aire/ kg combustible

Combustión del aire con exceso 112%
%at = ~111.5
AC= ~5 kg aire/ kg combustible

Constante gas Asociado: 190,524 J/kgK

Balance Entalpía
 $\Delta\hat{H}_{rx}^{\circ} = Q = H_{prod} - H_{react}$
 $C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$

Balance de Energía
 $E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{sistema}$

DFTO
T referencial: 353 - 1100 °K

VCU
T referencial: 1100 - 1260 °K

Calor generado que desprende de la combustión del DFTO
~ -1,3E+10 (kJ/kmol)

Calor Generado

$$Q_{sal} = \sum \Delta\hat{H}_{rx,(298^{\circ}K)} + \sum \Delta C_{p_{rx}}^{\circ}(\text{diferente } T)$$

Calor generado que desprende de la combustión del VCU
~ -1,6E+08 (kJ/kmol)

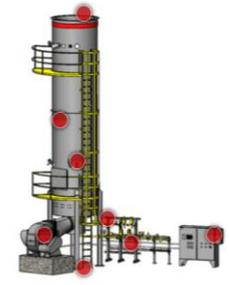


Tabla 3.
Composición del Gas
Asociado del Bloque 53

	%Molar	Fracción molar
Metano	8,072	0,081
Nitrógeno	1,003	0,010
CO2	70,176	0,702
Etano	2,991	0,030
Propano	6,431	0,064
Iso-Butano	2,181	0,022
N-Butano	4,953	0,050
Iso-Pentano	0,874	0,009
N-Pentano	1,375	0,014
Hexano	1,945	0,019

Factor de Compresibilidad del gas: **Z=0.98**
 Volumen Específico gas: $\dot{V}_{fuel} = 0.184 \text{ m}^3/\text{kg}$
 Flujo másico del gas: $\dot{m}_{fuel} = \sim 0.5 \text{ kg/s}$
 Flujo másico del aire: $\dot{m}_{air} = \sim 2.48 \text{ kg/s}$
 Relación aire – combustible **AC = 5 (kg air/kg combustible)**

Condiciones ISO Turbina (15°C, 60% humedad, 1 atm)
 Heat rate: **14,596 kJ/kWh**
 Caudal gas escape: **9 kg/s**
 Potencia eléctrica: **1,788 kW**
 Temperatura salida: **554 °C**

Datos de las curvas de rendimiento de la turbina
 Hate rate: **15400 kJ/kWh**
 Potencia máxima: **1605 Kw**
 Caudal gas escape: **7.2 kg/s**
 Temperatura salida: **565 °C**

Caudal del gas: **3.22 ft³/s - 280 MPCD)**

La turbina tiene una potencia de ~4870 kW para generar 1,605 kWe



Microturbina C1000S

Tabla 4.
Composición del Gas
Asociado del Bloque 53

	%Molar	Fracción molar
Metano	8,072	0,081
Nitrógeno	1,003	0,010
CO2	70,176	0,702
Etano	2,991	0,030
Propano	6,431	0,064
Iso-Butano	2,181	0,022
N-Butano	4,953	0,050
Iso-Pentano	0,874	0,009
N-Pentano	1,375	0,014
Hexano	1,945	0,019

Factor de Comprensibilidad del gas: $Z=0.98$
Volumen Específico gas: $\dot{V}_{fuel} = 0.184 \text{ m}^3/\text{kg}$
Flujo másico del gas: $\dot{m}_{fuel} = \sim 0,049 \text{ kg/s}$
Flujo másico del aire: $\dot{m}_{air} = \sim 0,243 \text{ kg/s}$
Relación aire – combustible $AC = 5 \text{ (kg air/kg fuel)}$

Condiciones ISO Turbina (15°C, 60% humedad, 1 atm)
Heat rate: **11,600 kJ/kWh**
Caudal gas escape: **6.65 kg/s**
Potencia eléctrica: **950 kW**
Temperatura salida: **280 °C**

Datos de las curvas de rendimiento de la microturbina
Heat rate: **10,025 kJ/kWh**
Potencia eléctrica: **200 kW**
Temperatura salida: **477 °C**
Caudal gas escape: **1,35 kg/s**

Caudal del gas: $\sim 0,32 \text{ ft}^3/\text{s}$ (**28 MPCD**)

La turbina tiene una potencia de $\sim 1096 \text{ kW}$ para generar **200 kWe**



Alternativas Adicionales

Figura 6.
Esquema de alternativa para obtener metano e hidrógeno a partir de reformado de vapor

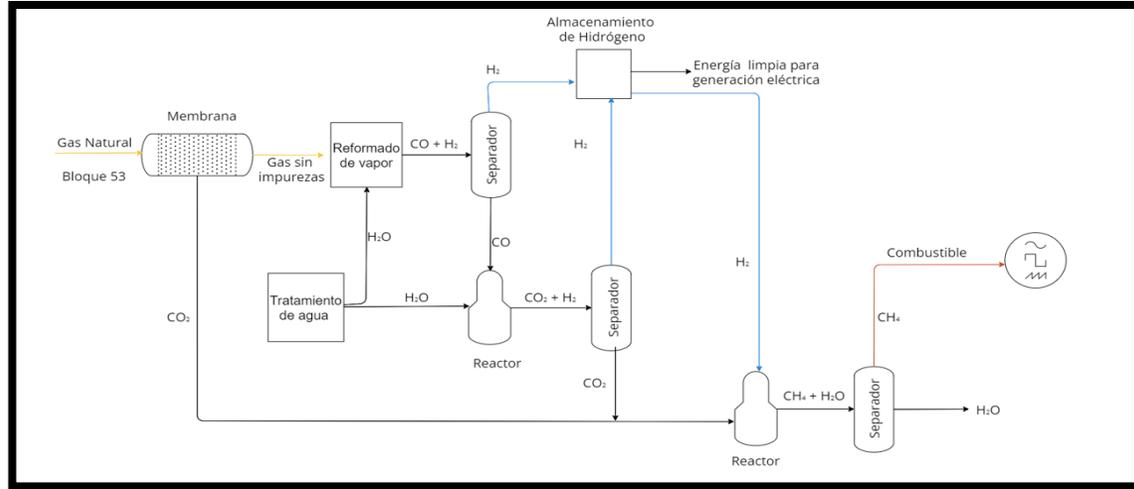


Figura 7.
Esquema de alternativa para obtener metanol e hidrógeno a partir de reformado de vapor

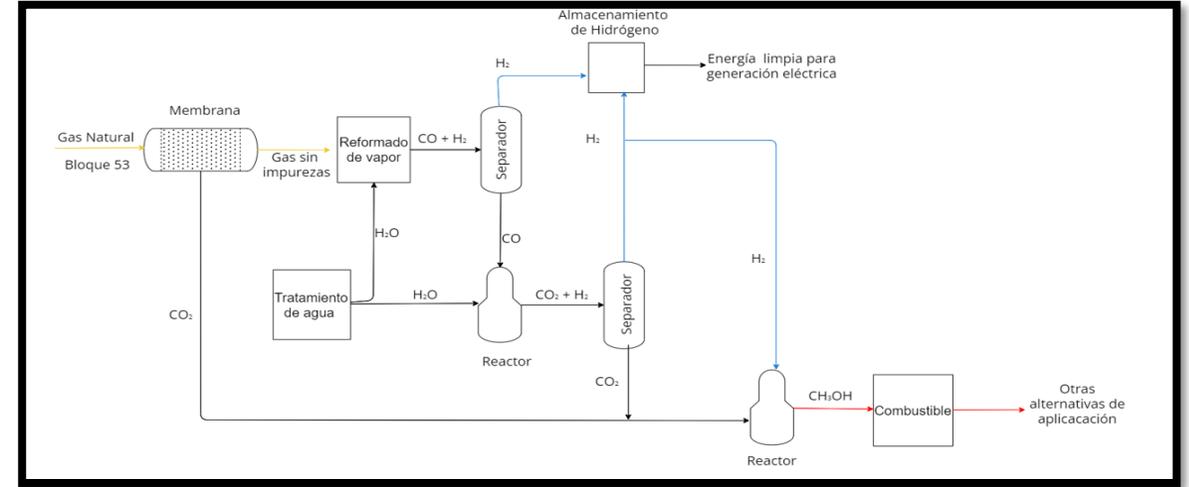


Figura 8.
Esquema de alternativa para obtener metanol e hidrógeno a partir de oxidación parcial

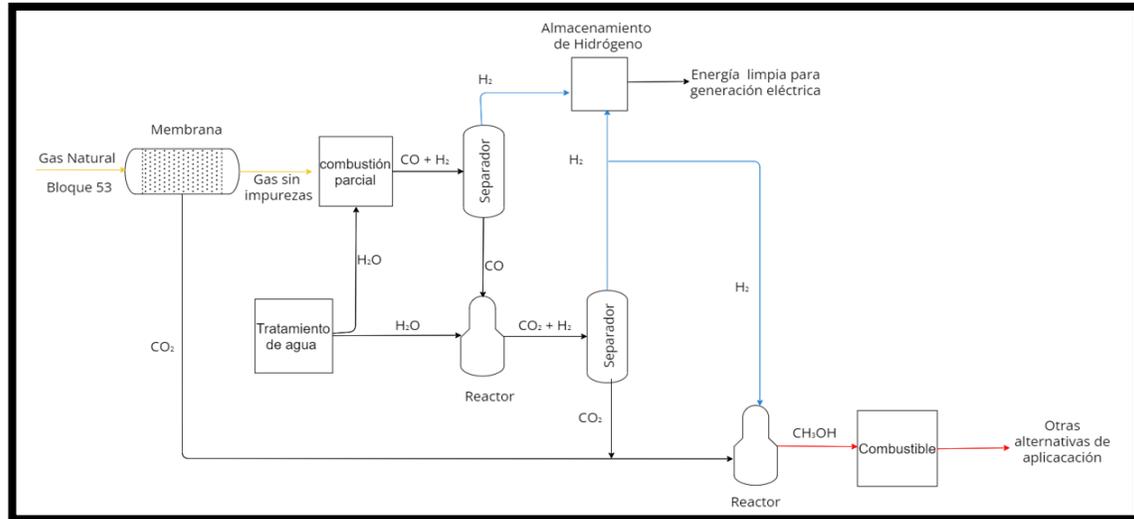
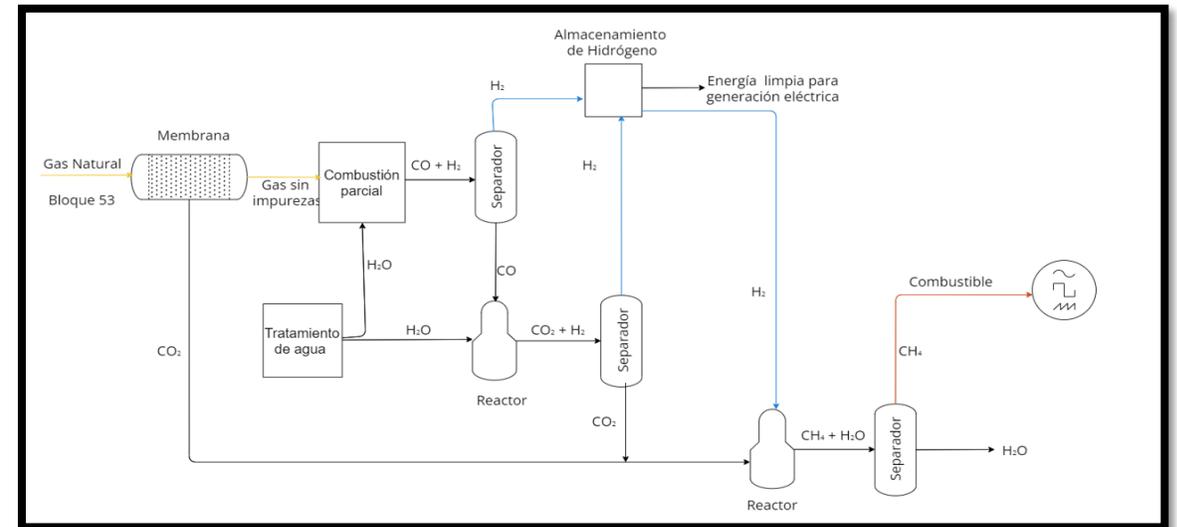
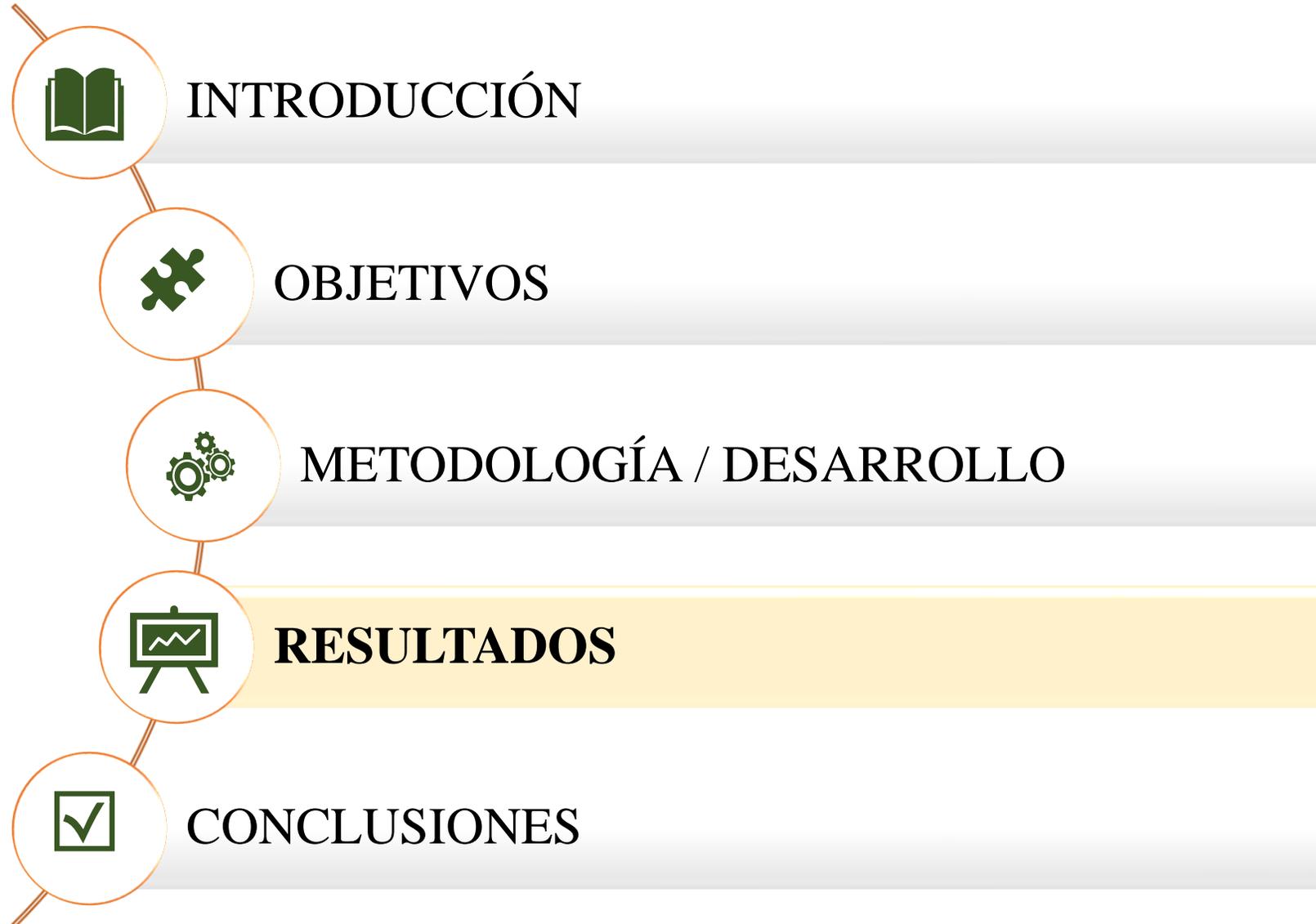


Figura 9.
Esquema de alternativa para obtener metano e hidrógeno a partir de oxidación parcial





Comparación de alternativa de oxidación térmica



Tabla 5.

Comparación de alternativa oxidación térmica

Alternativa Oxidación Térmica		
	Oxidante de Fuego Directo	Unidad de Vapor de combustión
	DFTO	VCU
Funcionamiento	Trabaja con gases de bajo poder calorífico	La mayor parte trabaja con gases de mediano y alto poder calorífico
	No requiere de combustible adicional	Requieren de combustible adicional para que la combustión sea completa
	Destruye mas del 99,9% de compuestos orgánicos volátiles (COV)	Destruye hasta el 99% de compuestos orgánicos volatiles (COV)
	Con frecuencia se usa en la Industria Oil&Gas	Con frecuencia se usa en la Industria Oil&Gas
	Temperaturas de 353 - 1100°K	Temperaturas de 1100- 1260°K
	-1.3e+10 kJ/kmol	-1.6e+08 kJ/kmol
Calor	El calor residual, se recupera para implementar cogeneración (CHP),	El calor, se recupera para implementar cogeneración (CHP),

Tabla 6.

Comparación de alternativa de generación eléctrica a gas

Alternativa Generación Eléctrica a gas		
	Turbina de gas	Microturbina de gas
	OP16	Capstone
Funcionamiento	Trabaja con gases de bajo poder calorífico	Trabaja con gases de bajo poder calorífico
	Tiene tres cámaras de combustión	Requiere estar conectado a una red de electricidad
	Los gases de residuo contienen bajas emisiones de contaminantes	Los gases de residuo contienen bajas emisiones de contaminantes
	Con frecuencia se usa en la Industria Oil&Gas	Con frecuencia se usa en la Industria Oil&Gas
	Genera potencia ~1,8 MWe. Condición ISO	Genera potencia de 200 kW por cada módulo
	Los gases de residuo contienen bajas emisiones de contaminantes	La microturbina contiene 5 módulos, dando una potencia total de 1MW
	Potencia ~1.6 kWe	Potencia 200 kWe
	Calor	El calor residual, se recupera para implementar cogeneración (CHP),

Comparación de alternativa CO₂



Tabla 7.

Comparación de alternativa recuperación mejorada con inyección de CO₂

Alternativa EOR con inyección de CO₂	
Aumenta la producción y reducir la viscosidad del petróleo pesado	
Almacenamiento de CO ₂ en yacimientos de petróleo y gas agotados	
Métodos de captura de CO ₂ , pre-combustión, post-combustión y oxicomustión	
El transporte de CO ₂ , se puede realizar por gaseoductos, tomando en cuenta el medio ambiente, seguridad para evitar accidentes	
El costo de implementación, implica construcción, los costos disminuye a medida que la tecnología siga madurando y creciendo	
Alternativas adicionales	
El método de captura de CO ₂ , por pre-combustión se plantea alternativas para obtener varios productos	
Uso de membrana para separar el CO ₂ , aplicación por reformado de vapor	metano, hidrógeno, metanol
Uso de membrana para separar el CO ₂ , aplicación por oxidación parcial	metano, hidrógeno, metanol



- Se propusieron alternativas de aprovechamiento del gas asociado de un Bloque petrolero, mediante investigación bibliográfica. Las alternativas se enfocaron bajo los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), de energía limpia y cero emisiones netas.
- El presente proyecto de investigación se enfocó, en aprovechar el gas asociado del Campo Singue – Bloque 53, operado por la empresa Gente Oil Ecuador Pte. Ltd. En el cual se planteó el marco situacional actual de sustituir los mecheros de gas, en alternativas viables para generación eléctrica permitiendo la reducción del impacto ambiental.
- Las características físico químicas del gas asociado del Bloque 53, permitieron analizar alternativas de oxidación térmica, generación eléctrica a gas y de recuperación mejorada con Inyección de CO₂. Tomando en cuenta que el gas contiene mayor porcentaje molar de CO₂.
- Se analizó la alternativa de Oxidación Térmica, determinando como alternativas estudiadas la torre de Oxidación de Fuego Directo (DFTO) y la Unidad de Vapor de Combustión (VCU).

- En base a la investigación realizada para la quema eficiente del gas asociado del Bloque 53, el oxidante térmico óptimo es el DFTO, al ser altamente eficiente para eliminar los compuestos orgánicos volátiles (VOC) y los gases de salida pueden ser aplicados en procesos industriales como la adición de una turbina de vapor para generar electricidad.
- Se analizó la termodinámica de la turbina de gas OP16, dando una potencia mayor de 1.6 MWe, potencia necesaria para suministrar en los generadores eléctricos. Y la microturbina genera una potencia de 200 kW, cada módulo, la marca Capstone de la microturbina trabaja con 5 módulos dando una potencia total de 1 MWe. Determinando como alternativa viable la Turbina OP16, que cumple con las condiciones actuales del gas asociado de bajo poder calorífico.
- Se determinó la alternativa de Recuperación Mejorada con Inyección de CO₂ no es viable en el Campo Singue, sin embargo la metodología de captura de CO₂, se estudió para mejorar el gas y obtener varias alternativas
- En la alternativa adicional se planteó el método de captura pre-combustión por reformado de vapor o combustión parcial del gas, que permitió realizar un esquema para aprovechar los recursos y obtención de energía alterna como metano, metanol e hidrógeno.

- La tecnología CHP viable para aprovechar el gas asociado del Bloque 53, por las condiciones físico químicas del gas, son las turbinas de gas OP16, esto permite reducir el consumo de diésel en el sistema de generación bifuel que tiene el Campo Singue. En la actualidad consumen alrededor de 4,800 galones de diésel por día, ocupando aproximadamente 35 MPCD de gas. El uso de la turbina OP16, permite ahorrar un aproximado de \$342,240 mensual de consumo de diésel.
- Favoreciendo de manera significativa a la calidad del aire y al Sumak Kawsay, de esta forma se acoplan a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7,11,13 y las políticas de responsabilidad ambiental del Gobierno Nacional del Ecuador y a la iniciativa “Cero quema regular de gas para 2030” y el “Compromiso Mundial por el metano”.

Agradecimiento

- A mi familia por el apoyo constante
- A la empresa Gente Oil Ecuador Pte. Ltda.
- A mi tutor Dr. Ricardo Urrutia
- A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga
- A mis amigos mas cercanos