
	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	1 de 15
		Fecha	Versión
			1

LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN


Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	2 de 15
		Fecha	Versión
			1

Contenido

1. OBJETIVO.....	3
2. DIRIGIDO A.....	3
3. MARCO REGULATORIO.....	3
3.1. Fiscalización	3
3.2. Marco regulatorio de emisiones - Resolución 40066 de 11 de febrero de 2022.	5
3.3. Marco regulatorio de emisiones - Resolución 40317 de 10 de abril de 2023.....	5
4. DEFINICIONES	6
5. INTRODUCCIÓN.....	7
6. EMISIONES GEI POR QUEMA EN TEA	7
7. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA TEA.....	9
8. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE LA TEA.....	11
8.1. Metodología Directa.....	11
8.2. Metodología Indirecta	12
9. VALOR MÍNIMO DE LA EFICIENCIA DE LA TEA	13
10. PERIODICIDAD DE LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE LA TEA.....	13
11. PRESENTACIÓN Y ESTRUCTURA DEL INFORME DE EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE LA TEA – IEC.....	14
12. MECANISMO LEGAL PARA EL PRONUNCIAMIENTO DE LA ANH COMO ENTE FISCALIZADOR.....	15
13. REFERENCIAS.....	16

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	3 de 15
		Fecha	Versión
			1

1. OBJETIVO

Determinar los lineamientos técnicos a seguir por las Compañías Operadoras encargadas de la exploración y explotación de hidrocarburos, para la evaluación del rango mínimo de eficiencia de las Teas y para efectos de la presentación del informe de resultados del proceso de medición de eficiencia de las Teas en producción, de que trata el artículo 3 de la Resolución 40317 de 2023 que modificó el artículo 22 de la Resolución 40066 de 2022 del Ministerio de Minas y Energía.

2. DIRIGIDO A

Responsables de las operaciones o actividades de exploración y explotación de hidrocarburos en áreas continentales y costa afuera ubicadas en el territorio nacional, acorde con el artículo 3 de la Resolución 40317 de 2023 que modificó el artículo 22 de la Resolución 40066 de 2022.

Nota: Los documentos del Informe de Inspección, que acredita la medición de eficiencia de tea en el proceso de quema de gas natural, la Declaración de Primera Parte de Conformidad de la medición de la eficiencia de tea en el proceso de quema de gas natural y los demás que las Operadoras entreguen a la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH, “*deberán ser firmados por un Ingeniero de Petróleos con su respectiva matrícula profesional*”, tal como lo define el Parágrafo 1 del artículo 79 de la Resolución 40066 de 2022. En consecuencia, las Compañías Operadoras deberán informar a la ANH: nombre, cargo, perfil profesional, tarjeta profesional y datos de contacto de la persona que firmará las comunicaciones e igualmente del responsable de la medición anual de la eficiencia de tea en el proceso de quema de gas natural.


3. MARCO REGULATORIO

3.1. Fiscalización

Los antecedentes normativos en materia de fiscalización, se encuentran definidos en la siguiente normatividad:

- Artículo 332 de la Constitución Política: “*El Estado es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables, sin perjuicio de los derechos adquiridos y perfeccionados con arreglo a las leyes preexistentes*”.
- Decreto - Ley 4137 del 03 de noviembre de 2011, “*Por el cual se cambia la naturaleza jurídica de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH*”, dispuso en el numeral 17 del artículo 4, subrogado por el artículo 3 del Decreto 714 del 10 de abril de 2012, “*Por el cual se establece la estructura de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH y se dictan otras*”.

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	4 de 15
		Fecha	Versión
			1

disposiciones”, que corresponde a esta Entidad “Hacer seguimiento al cumplimiento de las normas técnicas relacionadas con la exploración y explotación de hidrocarburos dirigidas al aprovechamiento de los recursos de manera racional e integral”.


- Ley 2056 de 2020 *“Por la cual se regula la organización y el funcionamiento del sistema general de regalías” que en el artículo 7 “Funciones del Ministerio de Minas y Energía y de sus entidades adscritas y vinculadas” define en el numeral 2: “La Agencia Nacional de Hidrocarburos o quien haga sus veces, además de las funciones establecidas en la ley, ejercerá las siguientes funciones relacionadas con la fiscalización de la exploración y explotación de los yacimientos hidrocarburíferos: ejercerá el seguimiento y control de los contratos y convenios; verificará la medición y monitoreo a los volúmenes de producción y verificará el correcto desmantelamiento, taponamiento y abandono de pozos y facilidades.”*

Así mismo, en el Artículo 17 define la Fiscalización, así:

“Artículo 17. Fiscalización de la exploración y explotación de recursos naturales no renovables. La fiscalización de la exploración y explotación de recursos naturales no renovables, deberá estar orientada al cumplimiento de las normas y de las obligaciones derivadas de los contratos y convenios, títulos mineros y demás figuras que por mandato legal permiten la exploración y explotación de recursos naturales no renovables, incluidas las etapas de desmantelamiento, taponamientos, abandono y en general de cierres de operaciones tanto mineras como de hidrocarburos, según corresponda; igualmente incluye la determinación y verificación efectiva de los volúmenes de producción, la aplicación de buenas prácticas de exploración, explotación y producción, el cumplimiento de las normas de seguridad en labores mineras y de hidrocarburos”.

- Resolución 40066 de 2022, *“Por la cual se establecen requerimientos técnicos para la detección y reparación de fugas, el aprovechamiento, quema y venteo de gas natural durante las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos”, modificada por la Resolución 40317 de 2023, “Por la cual se modifica la Resolución 40066 de 11 de febrero de 2022, mediante la cual se establecen requerimientos técnicos para la detección y reparación de fugas, el aprovechamiento, quema y venteo de gas natural durante las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos”, en el artículo 3., que modificó el artículo 22 de la Resolución 40066 de 2022, sobre la eficiencia de la Tea, indicó entre otras cosas que: “La Entidad de Fiscalización, a más tardar el 31 de octubre de 2023, establecerá los lineamientos técnicos, incluida la eficiencia mínima y la metodología de que trata el inciso anterior, tanto para la evaluación de la eficiencia de la Tea como para la presentación del informe de resultados, en concordancia con estándares internacionales y mejores prácticas aplicables a la materia”.*
- Resolución 0137 del 17 de febrero de 2023, que delegó en el Vicepresidente de Operaciones, Regalías y Participaciones - VORP de la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH expedir los *“Lineamientos Técnicos para la Evaluación de la Eficiencia de*

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	5 de 15
		Fecha	Versión
			1

Combustión en Tea y la Presentación del Informe de Resultados", acorde con lo dispuesto en el Artículo 3 de la Resolución 40317 de 2023, expedida por el Ministerio de Minas y Energía.

3.2. Marco regulatorio de emisiones - Resolución 40066 de 11 de febrero de 2022.

Resolución No.	40066
Alcance	<i>"Por la cual se establecen requerimientos técnicos para la detección y reparación de fugas, el aprovechamiento, quema y venteo de gas natural durante las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos".</i>
Fecha de expedición	11 de febrero de 2022
Emisor	Ministerio de Minas y Energía

3.3. Marco regulatorio de emisiones - Resolución 40317 de 10 de abril de 2023.


Resolución No.	40317
Alcance	<i>"Por la cual se modifica la Resolución 40066 de 11 de febrero de 2022, mediante la cual se establecen requerimientos técnicos para la detección y reparación de fugas, el aprovechamiento, quema y venteo de gas natural durante las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos".</i>
Fecha de expedición	10 de abril de 2023
Emisor	Ministerio de Minas y Energía

Artículo 3. Modificar el Artículo 22 de la Resolución 40066 de 2022, el cual quedará así:

"(...) El Operador deberá realizar anualmente la medición de la eficiencia del proceso de Quema de Gas Natural de las teas del campo que se encuentre en producción y deberá demostrar la conformidad de la medición de eficiencia de las teas a través de un informe de inspección expedido por un organismo de inspección acreditado por el ONAC o por un organismo de acreditación miembro de ILAC bajo la norma NTC-ISO/IEC 17020 con alcance a los lineamientos técnicos, incluida la eficiencia mínima y la metodología que establezca la Entidad de Fiscalización. Dicho informe de inspección deberá ser reportado a la Entidad de Fiscalización anualmente, a través del informe de resultados que este establezca, dentro de los 30 días calendario posteriores a dicha inspección.

La Entidad de Fiscalización, a más tardar el 31 de octubre de 2023, establecerá los lineamientos técnicos, incluida la eficiencia mínima y la metodología de que trata el inciso anterior, tanto para la evaluación de la eficiencia de la Tea como para la presentación del informe de resultados, en concordancia con estándares internacionales y mejores prácticas aplicables a la materia." (...)

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	6 de 15
		Fecha	Versión
			1

4. DEFINICIONES

Se deberán considerar todas las definiciones contenidas en el artículo 1 de la Resolución 40317 de 2023 “Por la cual se modifica la Resolución 40066 de 11 de febrero de 2022, mediante la cual se establecen requerimientos técnicos para la detección y reparación de fugas, el aprovechamiento, quema y venteo de gas natural durante las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos” que modificó el artículo 3 de la Resolución 40066 de 2022, en especial las relacionadas con: Aprovechamiento de Gas Natural, Estudio Técnico-Económico, Gas Natural Económicamente Inviabile, Quema de Gas Natural, Quema de Gas Natural por Seguridad, Quema Operacional de Gas Natural, Gas Natural Económicamente inviable, Tea y Tea de Baja.

Adicionalmente, para dar alcance al detalle de la información que deberán entregar las Compañías Operadoras, se incluyen las siguientes definiciones:


- **Combustión Incompleta:** A diferencia de la combustión completa donde los compuestos orgánicos se oxidan convirtiéndose en CO₂ y H₂O, la combustión incompleta se caracteriza porque algunos de los compuestos orgánicos no se oxidan completamente y se producen gases de combustión como el monóxido de carbono. Esto puede deberse a la falta de oxígeno (comburente) o a condiciones específicas de la reacción como bajas temperaturas [1].
- **Eficiencia de Destrucción o Remoción (DRE - Destruction or Removal Efficiency):** La eficiencia de destrucción o remoción (DRE) es la capacidad de un dispositivo de control para destruir o remover un determinado componente. El DRE de un componente específico es igual a uno menos la razón entre la cantidad del componente que sale y los que entran en el dispositivo de control.

Para el presente documento, DRE hace referencia a la eficiencia de destrucción del metano [2].

- **Eficiencia de Combustión (CE Combustion Efficiency):** se define como la proporción de la masa de carbono completamente oxidado; es decir, la masa de carbono dentro del dióxido de carbono producida por la combustión en relación con la masa de carbono en forma de hidrocarburos presentes en la corriente de combustible [2].

Bajo el entendido que DRE se refiere a la medida de cuánto metano es destruido (para formar CO₂ y CO), mientras que CE especifica cuántos de los hidrocarburos originales se queman completamente y se transforman en CO₂ y vapor de agua; para efecto de los lineamientos técnicos aquí presentados, la determinación de Eficiencia de Tea comprende tanto el reporte de la eficiencia de combustión (CE) como el reporte de la Eficiencia de Destrucción o Remoción (DRE).

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	7 de 15
		Fecha	Versión
			1

5. INTRODUCCIÓN

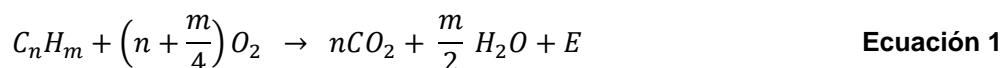
La Tea como sistema de combustión es utilizada en las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos, para quemar el gas natural que, debido a la calidad o a la cantidad en que son producidos no pueden ser aprovechados económicamente. La quema en Tea puede ser necesaria por razones de seguridad en pozos y facilidades donde se dé el procesamiento de gas; igualmente, es típicamente usada cuando se realiza mantenimiento rutinario y no rutinario y paradas de emergencia o sobre presiones que se puedan generar dentro de la facilidad. La combustión de gas natural en Tea en las facilidades de la industria de hidrocarburos en Colombia debe darse usando quemadores especialmente diseñados para la destrucción casi completa del gas, logrando valores altos de CE y de DRE, disminuyendo de esta manera las emisiones de Gases Efecto Invernadero - GEI a la atmósfera.

Con base en lo anterior, este documento contiene los lineamientos técnicos para la determinación de la eficiencia de Teas (CE y DRE) usadas en producción de hidrocarburos en el territorio nacional. Así mismo, se incluye la metodología usada, para que, a partir de estos datos, se estimen las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O asociados al proceso de combustión. Finalmente, se anexa el formato de recolección de datos de quema y lineamientos para la definición de eficiencia mínima para cada Tea.


6. EMISIONES GEI POR QUEMA EN TEA

Los Gases de Efecto Invernadero - GEI, son compuestos gaseosos que se encuentran en la atmósfera y provienen de forma natural o debido a la actividad humana. Se caracterizan principalmente por absorber y emitir radiación en determinadas longitudes de onda del espectro infrarrojo. Los principales GEI son el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), el ozono (O₃), entre otros[3]. Por su efecto y su tiempo de permanencia en la atmósfera, este tipo de gases tiene un alto impacto en la temperatura terrestre, de modo que sus emisiones ejercen una fuerte influencia en el clima a mediano y largo plazo, de ahí la importancia de conocer la cantidad de GEI que se están emitiendo a la atmósfera asociada a los procesos a la combustión en Tea [4].

La quema de gas natural en Tea se encuentra relacionada con la reacción de combustión de hidrocarburos, esta reacción se caracteriza porque una sustancia (combustible) en este caso el gas natural, reacciona con oxígeno (comburente) para producir principalmente el CO₂, agua y energía liberada en forma de calor y luz por tratarse de una reacción exotérmica. La ecuación 1 relaciona el comportamiento entre productos y reactivos en la reacción de combustión completa de hidrocarburos:



Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	8 de 15
		Fecha	Versión
			1

Debido a las altas temperaturas alcanzadas por la reacción y la presencia de nitrógeno en el aire, se espera como subproducto la generación de N₂O. Es importante resaltar que debido a factores operacionales y de composición del gas, la combustión del gas natural en Tea no posee eficiencia (CE y DRE) del 100%, lo que conlleva a una reacción incompleta donde cierta cantidad de componentes del gas natural serán liberados a la atmósfera. De estos componentes el de mayor interés es el metano (CH₄) porque debido a su estabilidad química, es uno de los gases que a pesar de tener un periodo menor de permanencia en la atmósfera absorbe mucha más energía en comparación al CO₂.

Para la estimación de las emisiones GEI asociadas a la quema de gas natural se utiliza el método descrito en el capítulo 5 del compendio API 2021 [5]. Las ecuaciones propuestas corresponden al balance de masa de la reacción de combustión en la Tea donde también se tienen en cuenta las ineficiencias. El ANEXO A presenta un ejemplo de cálculo para dicha estimación, así:

Las emisiones de CO₂ se estiman de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E_{CO_2} = \text{Volumen quemado} \left(\frac{1}{C_{\text{volumen molar}}} \right) * MW_{CO_2} * C_{\text{masa}} * \left[\sum \left(\frac{\text{moles hidrocarburos}}{\text{moles de gas}} * \frac{A \text{ moles de C}}{\text{moles de gas}} \right) * \frac{\text{Eficiencia de formación } CO_2}{\text{moles de C que hicieron combustión}} + \frac{B \text{ moles de } CO_2}{\text{moles de gas}} \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

E_{CO_2} = Emisiones de CO₂ (tCO₂)

Volumen quemado = Volumen quemado en la Tea (SCF);

C_{volumen molar} = Conversión de volumen molar a masa (379.3 SCF/lb-mol o 23.685 sm³/Kg-mol);

MW_{CO₂} = Peso molecular del CO₂, 44;

C_{masa} = toneladas/2204.62lb o tonelada/1000Kg;

A = Número de moles de carbono para el hidrocarburo en particular;

B = Moles de CO₂ presentes en la corriente quemada;

Eficiencia de formación CO₂ = Eficiencia de Combustión, CE.


Las emisiones de CH₄ se estiman a partir de la siguiente ecuación:

$$E_{CH_4} = \text{Volumen quemado} * X_{CH_4} * \% CH_4 \text{ residual} * \frac{1}{C_{\text{volumen molar}}} * MW_{CH_4} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

E_{CH_4} Emisiones de CH₄ (tCH₄)

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	9 de 15
		Fecha	Versión
			1

Volumen quemado = Volumen quemado en la Tea (SCF);

X_{CH_4} = Fracción molar del metano en la corriente de gas;

% CH₄ residual = Fracción de metano sin reaccionar (**1-DRE**);

Cvolumen molar = Conversión de volumen molar a masa (379.3 SCF/lb-mol o 23.685 sm³/Kg-mol);

MWCH₄ = Peso molecular del CH₄, 16.

Finalmente, las emisiones de N₂O pueden ser estimadas a partir de la siguiente relación:

$$E_{N_2O} = \left(E_{CO_2} \frac{EmF_{N_2O}}{EmF_{CO_2}} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

E_{N_2O} Emisión de N₂O de la Tea (tN₂O)

E_{CO_2} = Emisión de CO₂ de la Tea (tCO₂);

EmF_{N_2O} = Factor de emisión típico para N₂O (1* 10⁻³ Kg N₂O/MMBTU);

EmF_{CO_2} = Factor de emisión típico para CO₂ (60 Kg CO₂/MMBTU).

Las ecuaciones presentadas anteriormente indican que, para poder estimar las emisiones del proceso de quemado en Tea, es necesario conocer:

- Volumen de gas quemado.
- Eficiencia de combustión de la Tea.
- Eficiencia de destrucción de metano de la Tea.
- Composición de la corriente que alimenta la Tea.

7. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TEA

La eficiencia de Combustión se define como la proporción de la masa de carbono completamente oxidado; es decir, la masa de carbono dentro del dióxido de carbono producida por la combustión en relación con la masa de carbono en forma de hidrocarburos presentes en la corriente de combustible. Esta se denota mediante la siguiente expresión [6]:

$$\mu = \left(\frac{M_{C,CO_2}}{M_{C,f}} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$


Donde:

μ = Eficiencia de combustión;

M_{C,CO_2} = Tasa de masa de carbono de CO₂ producida por la llama;

$M_{C,f}$ = Tasa de masa de carbono de hidrocarburo en el gas de Tea antes de la combustión.

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	10 de 15
		Fecha	Versión
			1

Una forma alterna para la anterior ecuación es la siguiente:

$$CE (\%) = \left(\frac{[C]_{CO_2}}{\sum_i n_i [C]_{HC_i} + [C]_{CO} + [C]_{CO_2}} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

CE = Eficiencia de combustión en porcentaje;

$[C]_{CO_2}$ = Concentración volumétrica de CO₂ del gas de exosto;

$[C]_{CO}$ = Concentración volumétrica de CO;

$[C]_{HC_i}$ = Concentración del hidrocarburo que ha quedado sin reaccionar después de la quema.

Por otro lado, la eficiencia de destrucción de metano (DRE) está definida, así:

$$DRE_{CH_4} = 1 - \left(\frac{M_{CH_4,unc}}{M_{CH_4,f}} \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

DRE_{CH_4} = Eficiencia de eliminación o destrucción del metano;

$M_{CH_4,unc}$ = Tasa de masa de metano que no se ha quemado en la llama. Representa la cantidad de metano que no ha sido completamente oxidado y puede ser liberado a la atmósfera;

$M_{CH_4,f}$ = Tasa de masa de metano presente en el gas antes de la combustión.

En la práctica, la versión anterior puede ser modificada de la siguiente manera de tal forma que permita la evaluación experimental del DRE:

$$DRE_{CH_4} = \left[1 - \left(\frac{CF_{out}(CH_4)}{CF_{in}(CH_4)} \right) \right] * 100 \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

DRE_{CH_4} = Eficiencia de eliminación o destrucción del metano;


$CF_{out}(CH_4)$ = Tasa de flujo del metano a la salida de la Tea;

$CF_{in}(CH_4)$ = Tasa de flujo del metano a la entrada de la Tea.

El término CF para corrientes de entrada o salida se encuentra definido por la siguiente ecuación:

$$CF(CH_4) = \frac{N_c(CH_4) * [CH_4]}{\sum_i N_c(M_i) * [M_i]} \quad \text{Ecuación 9}$$

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	11 de 15
		Fecha	Versión
			1

Donde:

$CF(CH_4)$ = Corriente de entrada o salida para metano;

$N_c(CH_4)$ = Número de átomos de carbono en el metano, 1;

$[CH_4]$ = Concentración molar de metano en la corriente;

$N_c(M_i)$ = Número de carbonos de cada molécula de la especie i, incluyendo el metano;

$[M_i]$ = Concentración molar de la especie i, incluyendo el metano.

Como se ha expuesto en las ecuaciones anteriores, para la determinación de CE y DRE es necesario determinar las concentraciones del compuesto de interés después de la reacción de combustión, asumiendo que la composición del gas alimentado se conoce con anterioridad.

Cuando el método de determinación directa de CE permita la estimación de DRE mediante desarrollo propio, la operadora podrá optar por hacer uso de este. Cuando este no es el caso, la Operadora podrá tomar cualquiera de las opciones descritas en la parte inferior del Gráfico 1, sin limitarse a estas.

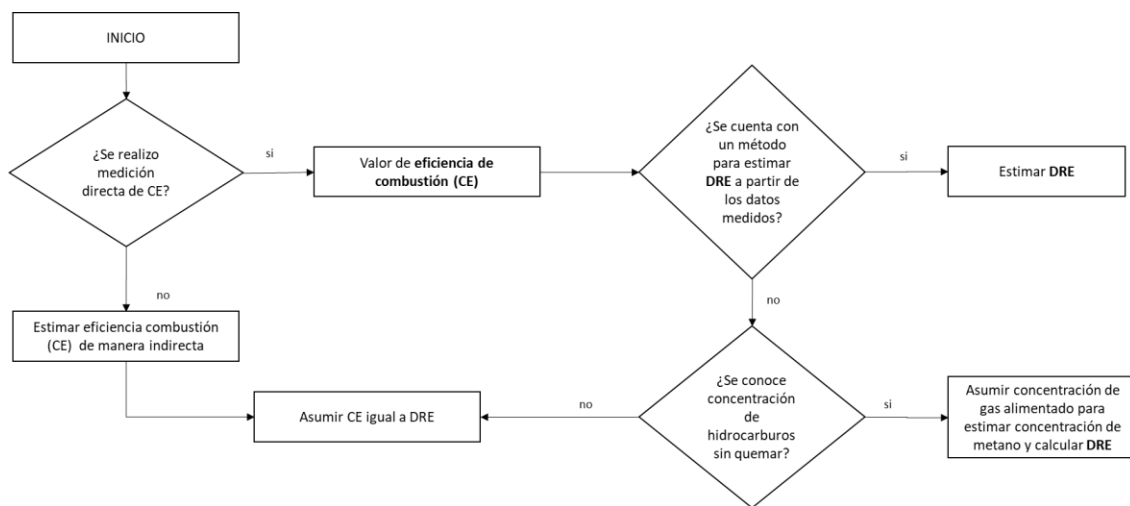



Gráfico 1. Árbol de decisión para determinar CE y DRE.

8. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA

8.1. Metodología Directa

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	12 de 15
		Fecha	Versión
			1

Serán consideradas en esta categoría aquellas metodologías que permiten medir directamente las concentraciones de los productos de combustión y que son insumo en tiempo real para el cálculo de la eficiencia de combustión (CE). Entre estas se encuentran, sin limitarse a estas:

- Tecnología de Imágenes Infrarrojas Hiperespectrales: identifica las especies de la pluma de hidrocarburos de la antorcha y determina las concentraciones de estas especies en la pluma.
- Espectroscopia Infrarroja de Transformada de Fourier (PFTIR, AFTIR) Pasiva y/o Activa: recopila los datos necesarios para determinar la eficiencia de la Tea.
- Cámaras Infrarrojas Pasivas FLIR GasFindIR: proporciona comparación visual de imágenes infrarrojas con los resultados de la tecnología de imágenes infrarrojas hiperespectrales y ayuda a otras herramientas de detección remota a tomar mediciones.
- Passive optical gas measurement systems.
- Video Imaging Spectral Radiometry (VISR).
- Open-Path OP-FTIR.
- Differential Absorption Lidar (DIAL).
- Métodos estacionarios, recolección de gases de exosto y posterior análisis.
- Aquellas dispuestas en el Methane Flaring Toolkit [7], que permiten medir concentraciones relativas de productos de combustión, dióxido de carbono e hidrocarburos no quemados en la llama.

8.2. Metodología Indirecta

Esta clasificación abarca las tecnologías y/o metodologías que permiten la estimación de eficiencia de tea, basado en análisis predictivos, simulaciones y/o desarrollos de ingeniería, tales como las dispuestas en las Methane Flaring Toolkit [7].

Para la estimación de la eficiencia de combustión de la tea se propone, pero no se limita, el trabajo de Kostiuk et al [8], donde la eficiencia de combustión puede ser estimada a partir de la siguiente ecuación, la cual considera valores de poder calorífico del gas, velocidad de la llama, diámetro del stack y velocidad del viento, tal como se presenta a continuación:

$$\mu = 1 - 0.00166 \left(\frac{LHV_{CH_4}}{LHV_f} \right)^3 * e^{\left(\frac{0.317 * U_w}{(g * d * U_f)^{1/3}} \right)}$$

Ecuación 10

Donde:


μ = Eficiencia de combustión;

LHV_{CH_4} = Poder calorífico inferior del metano por unidad de masa (MJ/Kg) (50 MJ/Kg);

LHV_f = Poder calorífico inferior de la corriente de gas a Tea por unidad de masa (MJ/Kg);

U_w = Velocidad del viento promedio (m/s);

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	13 de 15
		Fecha	Versión
			1

U_f = Velocidad de salida de la llamarada (m/s);

g = Gravedad (m/s²);

d = Diámetro exterior de la Tea (m);

El estudio referenciado para la obtención de la eficiencia de combustión a partir de la ecuación 10, fue adoptado por OGMP TGD - Oil and Gas Methane Partnership, Technical Guidance Documents para la estimación de la eficiencia de destrucción de metano (DRE) [7]. En consecuencia, a partir de esta ecuación es posible determinar el DRE, asumiendo que es igual a la eficiencia de combustión (CE).

Las Operadoras podrán usar métodos indirectos para estimar la eficiencia de Tea, siempre y cuando en su proceso de estimación utilicen datos medidos en campo. No obstante, la Entidad de Fiscalización podrá requerir ajuste de la metodología de estimación posterior al análisis de la información suministrada.

El uso de metodología indirecta para esta estimación de la Eficiencia de Tea estará limitado a:

- Existencia y/o disponibilidad justificada de tecnologías de medición existentes y/o desarrolladas a nivel nacional o internacional.
- Condiciones de seguridad manifiesta justificadas (considerando condiciones ambientales y de funcionamiento)
- Análisis Técnico-Económico debidamente justificado.

9. VALOR MÍNIMO DE LA EFICIENCIA DE TEA


El valor mínimo de eficiencia de cada tea será determinado a partir del análisis particular de la información suministrada en el Informe de Evaluación de Eficiencia de Tea, que a su vez permitirá la creación de la Línea Base Nacional de Eficiencia de Tea. Los rangos de eficiencia que sean determinados para cada sistema de combustión condicionan que su operación no podrá efectuarse con valores de eficiencia menores a estos.

Para aquellas teas donde la eficiencia actual sea inferior al valor mínimo determinado por el Ente de Fiscalización, la Operadora deberá presentar las alternativas para alcanzar dicho valor, así como el seguimiento de la ejecución de las actividades propuestas.

10. PERIODICIDAD DE LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA

Las Compañías Operadoras deberán realizar anualmente la medición de la eficiencia (CE y DRE) del proceso de quema de gas natural de las Teas del campo que se encuentre en producción y

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	14 de 15
		Fecha	Versión
			1

deberán demostrar la conformidad de la medición de eficiencia de Tea, a través del Informe expedido por un organismo de inspección acreditado por la ONAC, o por un organismo de acreditación miembro de ILAC, bajo la Norma NTC-ISO/IEC 17020 con alcance a los lineamientos técnicos, incluida la eficiencia mínima y la metodología establecida por la Entidad de Fiscalización. No obstante, acorde con lo establecido en el parágrafo 3 del artículo 3 de la Resolución 40317, hasta tanto no se acredite ante la ONAC organismos tipo A o B con las condiciones dispuestas, la conformidad deberá presentarse a través de una Declaración de Primera Parte, dentro de los doce (12) meses posteriores a la expedición de los lineamientos técnicos.

El Informe de Inspección deberá ser reportado a la Entidad de Fiscalización anualmente mediante el informe de resultados con la estructura definida en el ítem 11 del presente documento, dentro de los 30 días calendario posteriores a la inspección. Lo referente al reporte de volúmenes quemados y las emisiones asociadas a estos que se solicita en el Formato Reporte de Eficiencia de Tea, deberá corresponder a las quemadas realizadas en el periodo del primero (1) de enero al treinta y uno (31) de diciembre del año inmediatamente anterior.

11. PRESENTACIÓN Y ESTRUCTURA DEL INFORME DE RESULTADOS DE EFICIENCIA DE TEA.


A continuación, se presenta el detalle del contenido del Informe de Resultados de Eficiencia de Tea. Esta información se debe reportar de manera independiente para cada una de las Teas que las Operadoras tengan distribuidas en el país, así:

- Identificación de la Operadora:
 - Identificador único ante la ANH (NIT).
 - Nombre de la Operadora.
 - Identificación y datos de contacto del Representante Legal.
 - Identificación y datos de contacto del profesional responsable del Informe de Eficiencia de Tea.

- Información de la facilidad donde se encuentran los sistemas de combustión:
 - Facilidad – Batería – Estación (según la definición de la resolución).
 - Ubicación con coordenadas geográficas.
 - Período de Informe de Evaluación: Determinar el período del informe que se reporta (fecha emisión/año).
 - Facilidad nueva o existente.

- Información del sistema de combustión:

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	15 de 15
		Fecha	Versión
			1

- ID de la Tea.
 - Fecha de inicio de operación de la Tea.
 - Fecha del último mantenimiento de la Tea.
 - Composición del gas a quemar (C1 – C6+).
- Metodología de Evaluación de Eficiencia de Tea:
 - Descripción de la metodología utilizada. Se deberá indicar y justificar acorde con la tecnología/metodología seleccionada, los parámetros y tiempos considerados representativos.
 - Reporte de condiciones ambientales durante la medición (temperatura ambiente y velocidad del viento). Se debe garantizar que los reportes anuales subsecuentes se realicen en condiciones similares a la primera medida.
 - % Eficiencia de combustión de la Tea.
 - % DRE metano de la Tea.
 - Soporte de Declaración de Conformidad expedido por un organismo de inspección acreditado por la ONAC / miembro ILAC, o en su defecto, Declaración de Primera Parte conforme lo establecen la Norma NTC-ISO/IEC 17050 y la Entidad de Fiscalización.
 - Emisiones GEI asociadas a la Combustión de Gas Natural en la Tea:
 - Detalle del cálculo realizado.

Así mismo, se deberá remitir diligenciado el Formato Reporte de Eficiencia de Tea (ANH-COV-FR-20).


En línea con la Resolución 40317 de 2023, artículo 3, parágrafo 3, el primer informe de eficiencia de tea y la respectiva declaración de conformidad (Declaración de Primera Parte) deberá ser entregado dentro de los primeros 12 meses posteriores a la expedición de los lineamientos técnicos. Los informes subsecuentes deberán ser remitidos en un periodo no mayor de 12 meses contados a partir de la entrega del informe inmediatamente anterior.

Para la recepción de la información solicitada, la Entidad de Fiscalización presentará de manera anticipada el mecanismo (repositorio o plataforma definida) para tal fin.

12. MECANISMO LEGAL PARA EL PRONUNCIAMIENTO DE LA ANH COMO ENTE FISCALIZADOR

La ANH se pronunciará frente a las Compañías Operadoras respecto a:

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP

	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN	Código	Página
		ANH-XX-PR-XX	16 de 15
		Fecha	Versión
			1

- Solicitud de información complementaria del Informe de resultados de Eficiencia de Tea.
- Revisión del Informe de resultados de Eficiencia de Tea.
- Ante el incumplimiento en la entrega del Informe de Evaluación de Eficiencia de Tea, por parte de las Compañías Operadoras, es importante señalar que de conformidad con lo establecido en el artículo 82 de la Resolución 40066 de 2022, el incumplimiento a las disposiciones enunciadas será sancionado conforme a las disposiciones aplicables.

13. REFERENCIAS

- [1] Methane Guiding Principles., “Reducción de las Emisiones de Metano: Guía de mejores prácticas”, 2019.
- [2] S. C. Herndon *et al.*, “Application of the Carbon Balance Method to Flare Emissions Characteristics”, *Ind Eng Chem Res*, vol. 51, núm. 39, pp. 12577–12585, oct. 2012, doi: 10.1021/ie202676b.
- [3] H. O. Benavides Ballesteros y G. E. León Aristizabal, “Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático.”, *Ideam*, pp. 1–102, 2007, doi: IDEAM–METEO/008-2007.
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change, “RT.2.1 Gases de efecto invernadero”, IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. [En línea]. Disponible en: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/tssts-2-1.html
- [5] API, “COMPENDIUM OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS METHODOLOGIES FOR THE NATURAL GAS AND OIL INDUSTRY”, 2021.
- [6] B. Peebles, A. Esl, y P. Stockton, *Offshore flares: measurement and calculation of combustion efficiency, methane and CO2e emissions*. 2022.
- [7] Methane Guiding Principles, “Methane Flaring Toolkit”, <https://flaringmethanetoolkit.com/methane-flaring-toolkit/find-a-technology/technologies/?tags=64>.
- [8] J. M. T. G. Kostiuk L, “Flare Research Project Final Report, November 1996 – September 2004”.

Editó	Revisó	Aprobó
Diana Simancas Caraballo	Eusebio Orozco Cera	Rafael Fajardo Moreno
Yuber Rodríguez Arturo	Javier Cáceres Moreno	Luz Mireya Raymond/Asesor G3 G6
CARGO: Contratistas VORP	CARGO: Contratista VORP	CARGO: Vicepresidente VORP