

1-1-2013

Marco técnico como base para la reglamentación ambiental de las emisiones atmosféricas en la operación de las Teas en el sector de hidrocarburos

Cindy Paola Garzón Bejarano
Universidad de La Salle, Bogotá

Daniel Hernando Amézquita Chaparro
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Garzón Bejarano, C. P., & Amézquita Chaparro, D. H. (2013). Marco técnico como base para la reglamentación ambiental de las emisiones atmosféricas en la operación de las Teas en el sector de hidrocarburos. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/590

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS.**

CINDY PAOLA GARZÓN BEJARANO

DANIEL HERNANDO AMEZQUITA CHAPARRO

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ D.C

2013



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS.**

CINDY PAOLA GARZÓN BEJARANO

DANIEL HERNANDO AMEZQUITA CHAPARRO

Pasantía realizada para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director

Gabriel Herrera Torres

Ingeniero Sanitario

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ D.C

2013



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



Nota de aceptación

Firma del Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C. Junio de 2013



Dedicatoria, Cindy Paola Garzón Bejarano

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y llevarme de su mano siempre, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y así poder culminar una meta más en mi vida.

A mis padres Consuelo Bejarano y Orlando Garzón, por su ejemplo de Perseverancia, Responsabilidad, Honestidad y Amor, por creer en mí, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, porque con sus consejos me guiaron e impulsaron a salir adelante, por su apoyo y amor incondicional; sin ellos nada de esto sería posible.

A mis hermanos Mónica, Cristian y Jimena, quienes son mi motor para ser alguien mejor cada día, por estar siempre conmigo apoyándome, los quiero mucho.

A mi novio Elkin Parra, por compartir conmigo gran parte de esta etapa, vivir a mi lado cada momento, por su apoyo incondicional y su voz de aliento cuando más lo necesité.

Dedicatoria, Daniel Hernando Amezquita Chaparro

Quiero dedicar este logro importante para el inicio de mi vida profesional a Dios que me acompañe y llene de bendiciones durante esta etapa, a mi madre Omaira Chaparro Cardozo quien me acompañe y se esforzó día a día para que mis metas y mis sueños se pudieran alcanzar satisfactoriamente, a mi padre José Danilo Amezquita Amezquita, quien ilumino mis decisiones y pensamientos con consejos y palabras de aliento que me fortalecieron en todo momento, a mis hermanos Andrés y Santiago quienes me apoyaron y me brindaron todo lo que palabra hermandad significa.

A mi novia Ivette Marcela Sánchez Vera quien me brindó su apoyo incondicional en todo momento, y con su amor me llene de felicidad y armonía en los momentos más difíciles, gracias por tus detalles únicos.

Para concluir al Ingeniero Gabriel Herrera por su interés durante el proyecto, por la ayuda brindada, y por las enseñanzas que siempre estarán en mi mente y en mi corazón.



AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

Al ingeniero Gabriel Herrera Torres por su constante apoyo y acompañamiento durante el proceso de este proyecto, por brindarnos sus consejos, conocimientos y enseñanzas que día a día nos enriquecieron de manera tanto personal como profesional durante este proyecto.

A los ingenieros Gildardo Bermeo y Sandra Bravo, por prestarnos su asesoría profesional durante la experiencia en la ANLA, por el esfuerzo que cada uno de ellos puso en nuestro proyecto y en colaborarnos con cada requerimiento que se presentó por parte de los autores.

A los Ingenieros Jonathan Reyes y Ana Milena Quijano por estar siempre pendientes y preocupados ante cualquier inquietud durante el desarrollo de nuestro proyecto. De igual forma a los demás funcionarios de la ANLA por brindarnos su ayuda y atención.

A nuestros maestros, quienes marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, por compartirnos sus conocimientos y brindarnos su apoyo.

Finalmente a todos nuestros familiares y amigos, que nos acompañaron en este proceso y que de una u otra forma hicieron parte de nuestra formación como persona.

Cindy Paola Garzón Bejarano

Daniel Hernando Amezcuita Chaparro



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. OBJETIVOS.....	3
1.1 Objetivo General.....	3
1.2 Objetivos Específicos	3
2. FASE DE DIAGNÓSTICO.....	4
2.1 Diagnóstico Departamental	5
2.1.1 Departamento de Putumayo	6
2.1.1.1 Campo Orito.....	7
2.1.1.2 Campo Costayaco	9
2.1.2 Departamento de Casanare.....	10
2.1.2.1 Facilidades Centrales de Producción Cupiagua	12
2.1.2.2 Facilidades Centrales de Producción Cusiana.....	13
2.1.2.3 Campo Floreña	13
2.1.2.4 Campo Tocaria	14
2.1.2.5 Campo Morichal.....	15
2.1.2.6 Campo la Gloria	16
2.1.2.7 Campo Balay	17
2.1.2.8 Campo Caruto.....	17
2.1.3 Departamento de Tolima	18
2.1.3.1 Campo Matachín.....	19
2.1.3.2 Campo Guando.....	21
2.1.4 Departamento de Boyacá	23
2.1.4.1 Campo Corrales.....	24
2.1.4.2 Campo Palagua	25
2.1.5 Departamento del Huila	25
2.1.5.1 Campos Huila Norte.....	27
2.1.5.2 Campos San Francisco, Balcón y Palermo (Asociación Palermo).....	28
2.1.5.3 Campo la Hocha	29



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



2.1.5.4	Campo Gigante.....	31
2.1.5.5	Campo la Cañada Norte	32
2.1.5.6	Campo Tello.....	33
2.1.5.7	Campo Arrayan.....	34
2.1.6	Departamento del Meta	35
2.1.6.1	Campo Guatiquia	36
2.1.6.2	Campo Apiay	38
2.1.6.3	Campo Chichimene	38
2.1.6.4	Campo Kona	42
2.1.6.5	Campo Corcel.....	43
2.1.7	Departamento de Nariño.....	44
2.2	Antecedentes de quema de gas	44
2.2.1	Quema de gas periodo de 2009-2012	45
2.3	Análisis de las emisiones determinadas y fuentes de emisión (Teas) para los siete departamentos estudio.	49
3.	PARAMETROS BASICOS DE DISEÑO PARA OPERACIÓN EN TEAS	51
3.1	Requerimientos Espaciales de las Teas.....	52
3.1.1	Condiciones de ubicación de la tea, (midiendo desde la base de la tea....	52
3.1.2	Distancias de la tea con la propiedad pública	52
3.1.3	Altura de la tea.....	53
3.2	Valor calorífico del gas en la Tea	53
3.3	Velocidad de Salida del Gas	54
3.4	Emisiones Visibles.....	57
3.5	Numero de Pilotos en la Tea y Condiciones de Funcionamiento	57
3.6	Eficiencia de Remoción	59
3.6.1	Eficiencia de Combustión CE.....	59
3.6.2	Eficiencia de conversión de carbono (CCE)	60
3.6.3	Eficiencia de conversión de azufre (SCE).....	61
4.	CRITERIOS TECNICOS PARA VALORACION DE IMPACTOS	62
4.1	Radiación	62



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



4.1.1	Impactos por Radiación	63
4.1.2	Parámetros de Radiación térmica.....	64
4.1.3	Fracción de calor irradiado	64
4.1.4	Calculo de las variables de radiación térmica	67
4.1.5	Límites de radiación recomendados	68
4.1.6	Umbral de dolor	69
4.1.7	Criterios de instrumentación y parámetros para determinación de radiación en la TEA (HEAT RADIATION FORM FLARES)	72
4.1.7.1	Nivel de radiación en superficie	72
4.1.7.2	Velocidad de salida del gas	72
4.1.7.3	Tasa de flujo de combustible	73
4.1.7.4	Composición del gas.....	73
4.1.7.5	Tamaño de la llama en la TEA.....	73
4.1.7.6	Condiciones Ambientales: Viento, Temperatura y Humedad.....	74
4.2	Ruido.....	74
4.2.1	Efectos en la salud humana.....	74
4.2.2	Efectos en la fauna presente en el área de quema.....	75
4.2.3	Medición de Ruido en la TEA.....	76
4.2.4	Condiciones de monitoreo	77
4.2.5	Sitio de medición.....	78
4.3	Iluminación	79
4.3.1	Impactos	79
4.3.2	Variables fotométricas para las TEAS	80
4.3.2.1	Iluminancia.....	80
4.3.2.2	Luminancia.....	81
4.3.2.3	Flujo luminoso.....	82
4.3.2.4	Intensidad luminosa	83
4.3.2.5	Densidad luminosa	83
4.3.3	Aplicación de modelación para determinación de la Iluminación	84
4.4	Criterios de seguridad en TEAS	86



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



4.5	Criterios de rendimiento en TEAS	88
5.	PROCEDIMIENTOS DE MEDICION DE EMISIONES.....	89
5.1	Balance de masas	90
5.2	Factores de emisión	93
6.	CONCLUSIONES	96
7.	RECOMENDACIONES	99
8.	LISTA DE REFERENCIAS.....	102
	ANEXOS.....	107



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema Batería Uno	7
Figura 2 Batería sucumbíos.....	8
Figura 3 Proceso de operación de la Batería Tello.....	34
Figura 4 Esquema de tratamiento de la Estación de Recolección Apiay (ERA)	39
Figura 5 Línea de visión	68
Figura 6 Zonas de riesgo para personas expuestas.....	70
Figura 7 Comparación de flujos luminosos.....	83
Figura 8 Esquema de entradas y salidas de un sistema para la evaluación por balance de masas.....	92



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1 Volumen de Gas Quemado por Campo en el Departamento de Putumayo (2012)	6
Grafica 2 Volumen de Gas Quemado por Campo en el Departamento de Casanare (2012)	11
Grafica 3 Volumen de Gas Quemado por Campo en el Departamento de Tolima (2012)	18
Grafica 4 Volumen de gas Quemado por Campo en el Departamento de Boyacá (2012)	24
Grafica 5 Volumen de Gas Quemado por Campo en el Departamento del Huila (2012)	26
Grafica 6 Producción, Reutilización y Quema del gas asociado.....	30
Grafica 7 Volumen de Gas Quemado por Campo en el Departamento del Meta (2012)	35
Grafica 8 Quema de Gas periodo 2009-2012.....	45
Grafica 9 Usos del Gas Casanare 2011	46
Grafica 10 Usos del Gas Casanare 2010	46
Grafica 11 Quema de gas Putumayo 2009-2012	48
Grafica 12 Quema de Gas Tolima	48
Grafica 13 Emisiones generadas por la Quema de gas septiembre de 2012.....	50



LISTA DE IMAGENES

Imagen 1 Localización general del CPF Cupiagua.....	12
Imagen 2 Localización general del CPF Cusiana	13
Imagen 3 Vista general de una de las Teas	14
Imagen 4 Teas Campo Morichal.....	15
Imagen 5 Puntos de monitoreo dentro de la estación La Gloria	16
Imagen 6 Tea Facilidades Caruto.....	17
Imagen 7 Tea de alta y de baja estación Matachín norte	20
Imagen 8 Tea de alta y tea de baja estación Matachín sur	20
Imagen 9 Tea isla 6 campo Guando.....	22
Imagen 10 Adecuación de la tea campo corrales	25
Imagen 11 Teas Planta de Gas	28
Imagen 12 Estación de Monitoreo para emisiones por Tea	31
Imagen 13 TEA del Pozo Exploratorio Gigante 1A.....	32
Imagen 14 Zona de Teas de la facilidad Guatiquia – Percherón	36
Imagen 15 Facilidades Tempranas de Producción Percherón	37
Imagen 16 Vista general de la planta de gas de Apiay.....	39
Imagen 17 Drum de Tea y Tea de la estación Reforma - Libertad	41
Imagen 18 Vista general de la Facilidad Corcel A	43
Imagen 19 Teas de la Facilidad Corcel A.....	44
Imagen 20 Variables de cálculo.....	67



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Campos que más quemaron gas año 2012	49
Tabla 2 Requerimientos Espaciales de las TEAS	52
Tabla 3 Valor calorífico del gas que entra a la TEA.....	54
Tabla 4 Velocidad de Salida del Gas en la TEA	55
Tabla 5 Emisiones Visibles en la TEA	57
Tabla 6 Numero de pilotos en la TEA y Condiciones de Funcionamiento	58
Tabla 7 Efectos de la Radiación por Exposición a la Tea.....	63
Tabla 8 Límites de radiación recomendados	68
Tabla 9. Tiempo de exposición necesario para alcanzar el umbral de dolor	69
Tabla 10. Distancias permisibles operador y publico.....	70
Tabla 11 Valores típicos de densidad luminosa	84
Tabla 12 Intervalos típicos de iluminancia para diferentes áreas	85
Tabla 13 Factores de Emisión para las Teas	93



GLOSARIO

AMI: Áreas de Mayor Interés.

BOPD/ BPD: Barriles de crudo producidos diariamente. Representan la cantidad de crudo que una refinería puede destilar bajo condiciones normales de operación. Esta cantidad se expresa en términos de capacidad durante un periodo de 24 horas en procesos continuos.

BOPM: Barriles de crudo producción mensual.

BWPM: Barriles de agua producción mensual.

Campo petrolífero: Es una zona geográfica en que funciona un cierto número de pozos de petróleo o de gas a partir de un depósito continuo.

CAPP: Asociación Canadiense de Productores de Petróleo.

CCEE: Departamento de Cambio Climático y Eficiencia Energética.

Combustión: Es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de energía, en forma de calor y luz, manifestándose visualmente como fuego.

CPF: Facilidades Centrales de Producción.

Drum: Es un cilindro que se usa con el fin retirar los condesados del gas.

Eficiencia de quema: Es un índice de desempeño determinado por la relación entre los hidrocarburos consumidos en la combustión y la corriente total de hidrocarburos que llega al sistema de quema.

Emisión: Es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, proveniente de una fuente fija o móvil.

EPF: Facilidades tempranas de producción (Early production facilities).

Flame Arrestor (Parallamas): Su función es evitar la propagación de la llama al interior de la Tea.

Flashback: Es la retrospectiva o retorno de un fluido en una línea de proceso.



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



Flujo luminoso: cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo. Su unidad es el lumen (lm).

Fuente luminosa: dispositivo que emite energía radiante capaz de excitar la retina y producir una sensación visual.

GGFR: Grupo de Reducción Global de Quema de Gas

GLP: Gas Licuado de Petróleo.

Iluminación: acción o efecto de iluminar

Iluminancia (E): densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. La unidad de iluminancia es el lux (lx).

Intensidad luminosa de una fuente puntual de luz en una dirección dada (I): cantidad de flujo luminoso en cada unidad de Angulo solido en la dirección en cuestión. Por lo tanto, es el flujo luminoso sobre una pequeña superficie centrada y normal en esa dirección, dividido por el Angulo solido (en estereorradianes) el cual es subtendido por la superficie en la fuente I. la intensidad luminosa puede ser expresada en candelas (cd) o en lúmenes por estereorradián (lm/sr)

Kpc: Miles de pies cúbicos.

Luminancia: en un punto de una superficie, en una dirección, se interpreta como la relación entre la intensidad luminosa en la dirección dada producida por un elemento de la superficie que rodea el punto, con el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada. La unidad de luminancia es candela por metro cuadrado. (Cd/m^2).

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Manifold: Es un punto común de llegada llamado también Múltiple de llegada, compuesto por un sistema de tubería donde se reciben los fluidos de producción.

MPCPDC: Millones de pies cúbicos por día calendario.



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



NGL: Gasolina Natural.

Quema de Seguridad: Eliminación de gas mediante su conducción a un sistema de quema contenido a los efectos de impedir que el equipo de producción esté sometido a condiciones de excesiva presión. Los volúmenes de gas quemado incluyen los necesarios para mantener condiciones de seguridad y preparación del sistema de quema para una liberación de gas realizada en condiciones de seguridad no controladas.

SCFD: Standard Cubic Feet Day: Pie Cubico estándar por día.

Scrubber: Sistema de separación para eliminar cualquier traza de líquido en el gas que pasa para la Tea.

TEA: Es un sistema de tubería vertical, por lo general, donde se quema el gas resultante de un proceso industrial como petroquímico e hidrocarburos y por combustión se transforman a compuestos de CO_2 y vapor de agua.

Venteo: Liberación controlada de gas no quemado directamente en la atmósfera, para eliminar gas o para la operación segura de la planta. No comprende la liberación consistente en fugas de gas provocadas por pérdidas de conductos y equipos, pero sí las purgas de gas.



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



RESUMEN

El presente trabajo responde a la necesidad de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de contar con un instrumento técnico que sirva como base para reglamentar las emisiones atmosféricas generadas por las teas del sector de hidrocarburos.

El documento está conformado por cuatro secciones, inicialmente se realiza un diagnóstico donde se identifican y localizan las fuentes de emisión TEAS, volúmenes de gas quemado y se estiman las emisiones por medio de factores de emisión para cada campo petrolero, luego se plantean los parámetros básicos de diseño para que las teas operen de forma más eficiente, en la tercera sección se presentan los procedimientos para la estimación de emisiones en las teas y por último se plantean criterios técnicos que permiten la valoración de los impactos ambientales por iluminación, radiación y ruido.

PALABRAS CLAVE: Teas, Iluminación, Emisiones Atmosféricas, Combustión.



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



ABSTRACT

This paper addresses the need of Environmental Licenses Authority (ANLA) and the Ministry of Environment and Sustainable Development to have a technical tool that serves as a basis to regulate air emissions from the torches of the hydrocarbon sector.

The document consists of four sections, initially a diagnosis which identify and locate emission sources TEAS, volumes of gas flared and emissions are estimated using emission factors for each oil field, then silver basic parameters design so that the brands operate more efficiently, in the third section presents the procedures for estimating emissions in the torches and finally pose technical criteria to allow assessment of the environmental impacts of lighting, radiation and noise.

KEY WORDS: Flares, Lighting or Illumination, Atmospheric Emissions, Combustion



INTRODUCCIÓN

En el proceso operativo de la extracción del petróleo es necesario llevar a cabo un manejo de los gases que se generan, la técnica que se utiliza en la mayoría de casos para dicho manejo es la quema del gas total o de exceso mediante la utilización de antorchas o quemadores (TEAS). Sin embargo, durante la quema del gas por lo general se produce combustión incompleta, lo cual genera emisiones que impactan el medio ambiente y la salud de los habitantes dentro del área de influencia; de igual forma, se presentan problemas e inconformidades por parte de la población aledaña al área de influencia, asociados al ruido, iluminación y radiación generados por la tea, estos problemas han llevado a que la población presente quejas ante autoridades ambientales. Una de las razones en gran medida de este problema, es que las teas no se encuentran reglamentadas dentro de la normatividad para emisiones por fuentes fijas (Res 909 de 2008). Al no estar contemplados en dicha normatividad, hacen parte de las fuentes no evaluadas en muchos estudios, afirmando así que no liberan contaminantes que impacten el medio ambiente y perturben la tranquilidad de la población.

Para efectos de la problemática anteriormente mencionada, se propone establecer un marco técnico con destino a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) que sirva como base para la reglamentación ambiental de las emisiones atmosféricas en la operación de las teas del sector de hidrocarburos, y para cumplir con éste se realiza un diagnóstico con el fin de observar cómo se encuentra el país en cuanto al manejo y operación de las teas en el sector de hidrocarburos; se proponen parámetros básicos de diseño, criterios técnicos para la valoración de impactos por ruido, iluminación y radiación y procedimientos de medición de emisiones para la teas.

Teniendo en cuenta lo anterior, para realizar el diagnóstico de las emisiones por quema de gas en teas, se consideran los siguientes aspectos: volumen de gas quemado por



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



campo petrolero y por departamento, empresa encargada, nombre del contrato, localización e identificación de los campos y fuentes de emisión (TEAS), procedimientos de medición o estimación de emisiones atmosféricas y características técnicas y de operación de las teas, en los siete departamentos que generan mayor quema de gas en el país para el mes de septiembre de 2012 según los reportes del Ministerio de Minas y Energía.

En el planteamiento de los parámetros básicos de diseño se tienen en cuenta criterios de ubicación e instalación de las teas y condiciones o aspectos de funcionamiento, rendimiento y seguridad durante la operación de las teas, para garantizar buenas practicas operacionales en seguridad industrial y eficiencia del sistema.

Para poder establecer criterios técnicos para la valoración de impactos por ruido, radiación e iluminación productos de la operación de las teas, inicialmente se establecen los efectos adversos o los impactos que cada uno de estos parámetros genera en la salud y el medio ambiente y luego se plantean los criterios técnicos para su medición.

Finalmente, en cuanto a los procedimientos de medición se propone adoptar los procedimientos de estimación de emisiones del protocolo para el control y vigilancia de las emisiones atmosféricas, que son los balances de masas y los factores de emisión, ya que no existen métodos específicos aplicables a nivel nacional.



1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Establecer un marco técnico con destino a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) como base para la reglamentación ambiental de las emisiones atmosféricas en la operación de las teas del sector de hidrocarburos.

1.2 Objetivos Específicos

Diagnosticar las emisiones atmosféricas por quema de gas en teas a nivel nacional puntualizando la identificación, localización de fuentes, tipo y volumen de gas quemado.

Proponer parámetros básicos de diseño para operación de TEAS teniendo en cuenta la reglamentación internacional.

Plantear protocolos de medición para evaluar los niveles de contaminantes atmosféricos por la quema de gas en las TEAS.

Identificar criterios técnicos que permitan la valoración de los impactos ambientales potenciales en el proceso de la quema puntualizando la iluminación y calidad del aire.



2. FASE DE DIAGNÓSTICO

Esta primera fase se subdivide en tres partes, la primera se determinó mediante un método de documentación mediante la recopilación de la información obtenida de los Informes de Cumplimiento y Planes de Manejo Ambiental, que presentan semestral o anualmente las empresas encargadas del manejo de cada campo petrolero a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA); la información recopilada se enfoca en aspectos tales como fuentes de emisión (teas), emisiones y métodos de medición o estimación de emisiones, especificaciones y características técnicas y de operación de las teas utilizados en cada campo. El punto de partida para la búsqueda de información corresponde a una línea base establecida para el último periodo en el cual se reportó volúmenes de quema en TEAS por departamento, que corresponde al mes de septiembre de 2012, en el cual se realizó la clasificación de los 7 departamentos que más quemaron durante este periodo, los cuales son: Putumayo, Casanare, Tolima, Boyacá, Huila, Meta y Nariño. El reporte para establecer la línea base fue proporcionado por el Ministerio de Minas y Energía, titulado *balance de producción de gas por Campo y por Departamento*.

La segunda parte corresponde a los antecedentes de quema de gas en el territorio nacional, para esto se estudiaron los volúmenes de quema anuales de los últimos cuatro años (2009-2012), proporcionado por el Ministerio de Minas y Energía. Con esta información se determinó una nueva clasificación diferente a la del diagnóstico la cual corresponde a los cuatro departamentos que más quemaron durante estos años.

Finalmente la tercera parte corresponde al diagnóstico de las emisiones generadas por las TEAS durante las actividades de quema, donde se diseña una hoja de cálculo con los campos de los 7 departamentos clasificados, el volumen de gas quemado, y las emisiones de NO_x, CO, SOOT (hollín) e Hidrocarburos totales, calculadas a partir de la metodología de factores de emisión; las cuales se encuentran en el *Anexo 1*.



De igual forma, la información encontrada acerca de la localización geográfica de los campos petroleros y fuentes de emisión (teas) en los ICA's, PMA's y teniendo en cuenta también la información asociada a la Agencia Nacional de Hidrocarburos, se presenta en el *Anexo 2* el Mapa de Ubicación de las Fuentes de Emisión en el territorio Nacional, donde cabe resaltar que en algunos informes se registra la información de coordenadas para los bloques o áreas de exploración y explotación que encierran varios campos, en este caso se realizó el reporte de las coordenadas de las áreas de explotación explicando que dentro de esa área de explotación se encuentran delimitados los campos y las fuentes de emisión.

2.1 Diagnóstico Departamental

Para la recopilación de información de cada departamento, se tiene en cuenta únicamente los campos de exploración y/o explotación que reportaron un determinado volumen de quema de gas según Ministerio de Minas para septiembre de 2012; el diagnóstico se enfoca principalmente en la quema de gas en TEAS, por esta razón se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Fuentes de emisión (teas)
- Emisiones y métodos de estimación de emisiones en teas
- Especificaciones técnicas de las teas
- Características de operación de las teas.

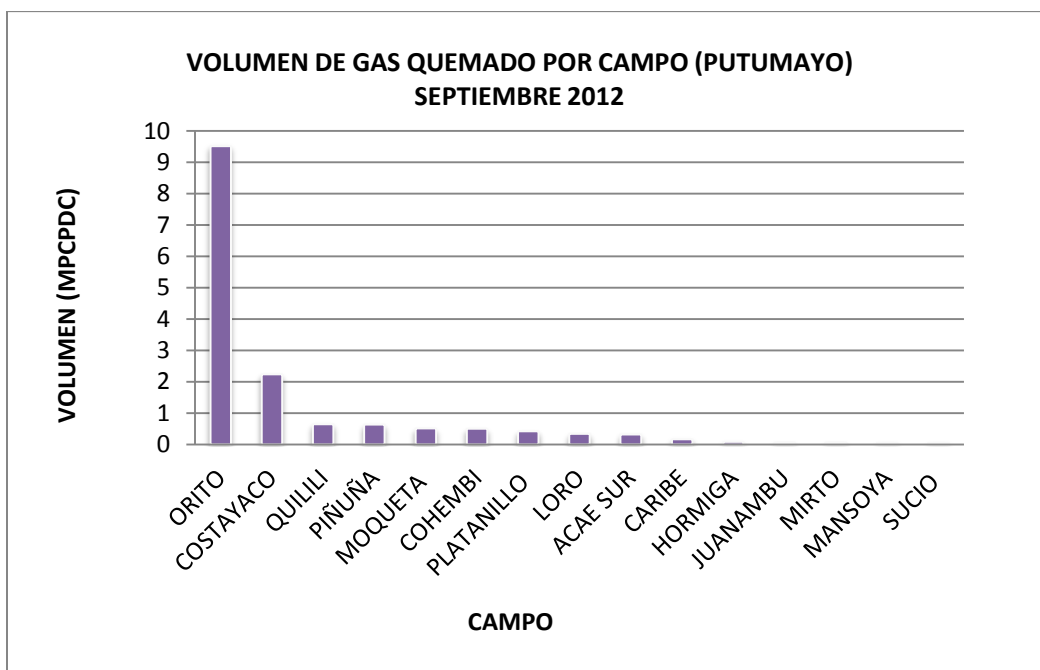
Estos aspectos son revisados de los Planes de Manejo e Informes de Cumplimiento Ambiental reportados por cada entidad encargada de los campos Petroleros con destino a la ANLA.

Cabe señalar, que los campos de producción y los aspectos a tener en cuenta mencionados anteriormente, que no se encuentren descritos en este contexto, se debe a la falta de información acerca de estos.

2.1.1 Departamento de Putumayo

Actualmente según el reporte del balance de producción de gas del Ministerio de Minas y Energía el departamento de Putumayo tiene los volúmenes más altos de gas quemado para septiembre de 2012. El departamento de Putumayo tiene un total de 17 campos que reportan quema de gas. La distribución del gas quemado por campo se presenta en la gráfica 1.

Grafica 1 Volumen de Gas Quemado por Campo en el Departamento de Putumayo (2012)



Fuente: Autores

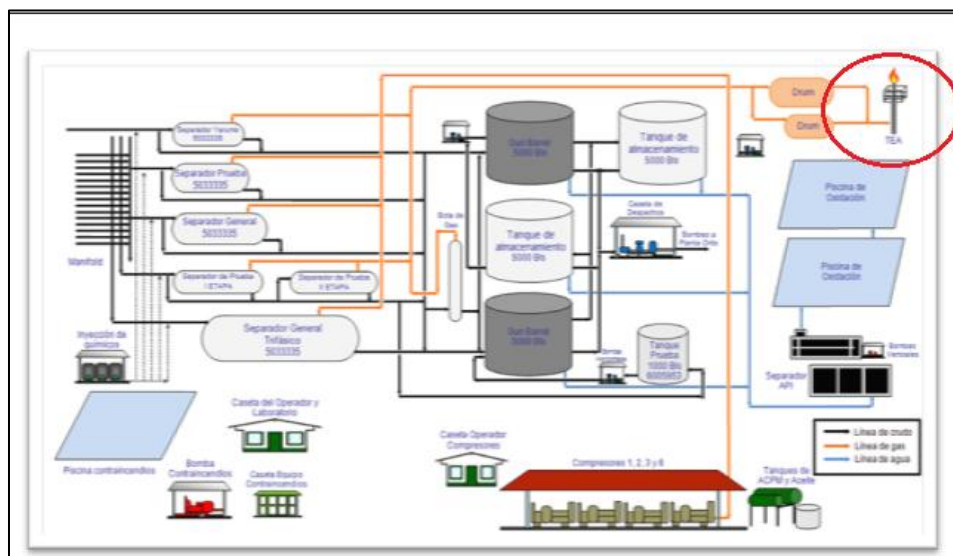
Según la figura anterior se puede observar la influencia que tiene el campo orito con volúmenes de gas quemados superiores a los 9 MPCPDC, siendo el campo que quema mayor volumen de gas seguido del campo Costayaco con un volumen aproximado de 2,2 MPCPDC; cabe resaltar que los dos campos están quemando todo el gas de producción, es decir, no se está utilizando el gas para ningún otro proceso.

2.1.1.1 Campo Orito

El área total del bloque Orito tiene 151 pozos, de los cuales 65 se encuentran en producción, 29 están abandonados y 57 suspendidos. Este bloque está conformado por áreas de contratos de la siguiente forma:

- **Área contrato Orito:** Esta área cuenta con tres baterías; la batería Uno con una tea, la batería Dos con una tea de alta y una de baja presión y la batería Satélite con una tea.¹ La totalidad del gas es llevado a los sistemas de teas. A continuación se puede observar el esquema de la batería uno de este contrato, con el fin de mostrar la ubicación de la tea.

Figura 1 Esquema Batería Uno



Fuente: ECOPETROLS.A. (2012). ICA Pozo Orito

- **Área contrato Sur:** Dentro de esta área se encuentran los campos ACAE-San Miguel, Loro y Hormiga; los cuales cuentan con dos baterías, la batería Colon y la batería Loro. En la batería Colon hay una Tea tipo Mach 2,0 y tiene un diámetro de

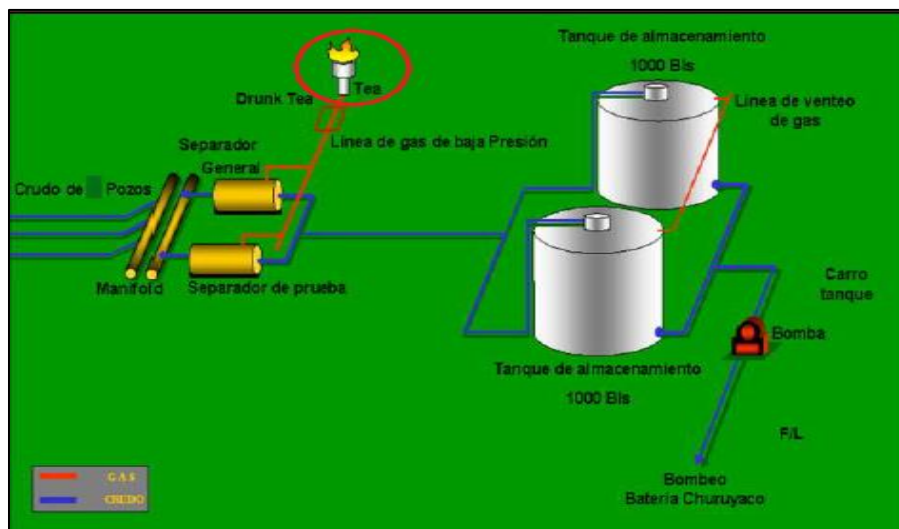
¹ Ecopetrol S.A. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental de la Superintendencia de Operaciones del Putumayo*. Bogotá D.C: ANLA.

12 pulgadas. En la batería Loro hay una Tea tipo Mach 0,2 con un diámetro de 6 pulgadas y una altura de 26 metros.

- **Área contrato Occidental:** Está conformada por los campos Sucio, Caribe, San Antonio, Churuyaco, Quiriyana, Thinkhana y Sucumbíos, de los cuales solo Sucio, Caribe y Sucumbíos reportan quema de gas según MinMinas para septiembre de 2012; por otra parte Sucumbíos pertenece al departamento de Nariño pero está dentro de la Superintendencia de Operaciones de Putumayo (SOP) debido a que pertenece a la cuenca de Putumayo. Este área cuenta con tres baterías:

En la batería Caribe hay una Tea para la quema de gas, resultado de la separación trifásica y de las operaciones dentro del campo, es de tipo Mach 0,2 con un diámetro de 6 pulgadas. En la batería Churuyaco hay una Tea tipo Mach 0,2 y tiene unas dimensiones de 14 pulgadas de diámetro y una altura de 10 metros. La batería Sucumbíos (Nariño) cuenta con una Tea de baja presión, tipo Mach 0,2 y tiene un diámetro de 8 pulgadas, como lo muestra la siguiente figura.

Figura 2 Batería sucumbíos



Fuente: ECOPETROLS.A. (2012). ICA Pozo Orito



- **Área contrato Nororiente:** Está conformada por los campos Mansoya, Cencella, Alborada, Cedral, Quilili, Sibundoy, Atriz, Picudo, Caiman y Yurilla, de los cuales solo Mansoya y Quilili reportan quema de gas según MinMinas para septiembre de 2012. Se cuenta en esta área con dos baterías:

La batería Mansoya que cuenta con una TEA para el proceso de quema de gas durante las operaciones en los campos, es de tipo Mach 0,2 y tiene un diámetro de 6 pulgadas; y la batería Quilili tiene un sistema de TEA para la quema de gas que tiene un diámetro de 6 a 4 pulgadas con una altura de 16 metros.

2.1.1.2 Campo Costayaco

Para los procesos de manejo de gas, todos los pozos están direccionados por medio de líneas de flujo a un manifold, en donde posteriormente el fluido es extraído y se lleva a un sistema de separadores trifásicos de donde sale el gas para ser enviado al sistema de Tea, un aspecto importante que se menciona en el informe es que a la Tea se le dio una nueva ubicación, capacidad y altura, mejorando los procesos de quema²; lo anterior se adoptó de acuerdo a los requerimientos que se establecieron en la licencia ambiental con resolución 2200 del 10 de Diciembre de 2008:

- La tea se debe ubicar a una distancia mínima de 100 metros con relación a la torre de perforación.
- La tea tendrá una altura mínima de 15 metros (Decreto 2 de 1982).
- La tea deberá ubicarse dentro de una placa, contar con un sistema de alivio de presión y de manejo de condensados.
- Debe realizarse una demarcación del área a fin de evitar el ingreso de personal.
- Mantenimiento preventivo de todos los equipos de combustión.
- Mantenimiento y supervisión permanente de la tea.

² Gran Tierra Energy. (2011). *Informe de Cumplimiento Ambiental Campo Costayaco*. Bogotá D.C: ANLA.



2.1.2 Departamento de Casanare

El departamento de Casanare consta de 43 campos que reportan quema de gas según la información obtenida del balance de producción de gas por campo del Ministerio de Minas para Septiembre de 2012.

Como se puede ver en la siguiente gráfica, a partir de aproximadamente la mitad para abajo de los campos el reporte de quema de gas es mínimo, por lo tanto para este departamento la búsqueda de información en la base de datos SILA se limita a los CPF's y a todos los que generan un volumen de quema de gas mayor a 0.1 MPCPDC.

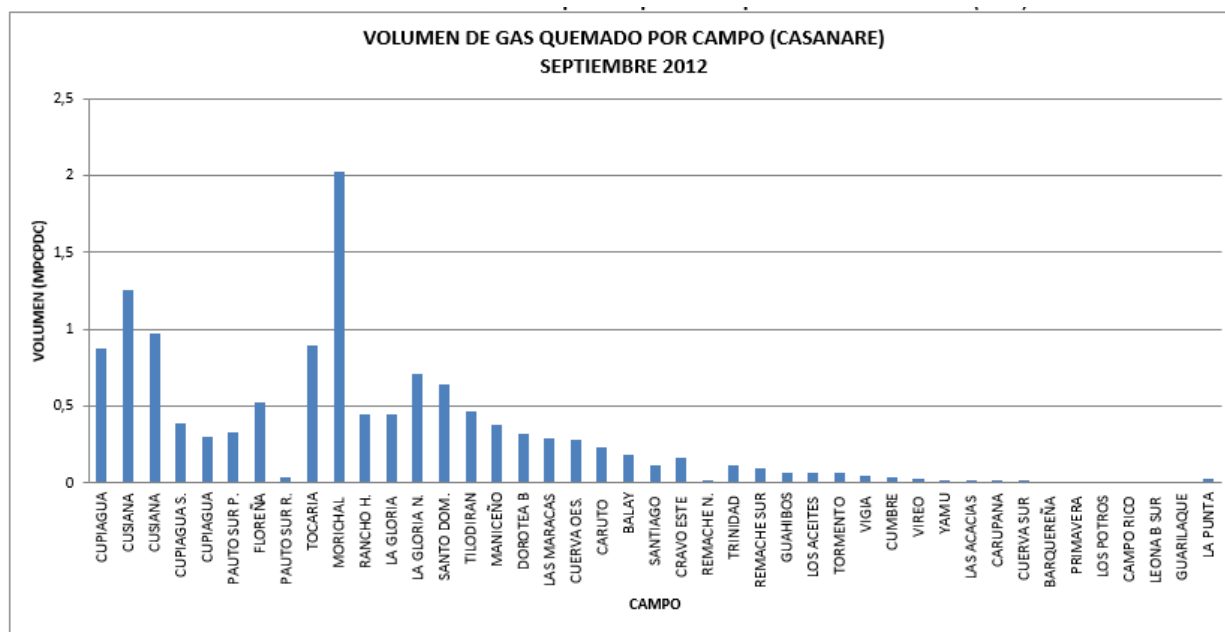
Como se muestra en la gráfica el campo que presenta el mayor volumen de gas quemado para el departamento de Casanare es Morichal, este tiene una producción de gas de 3.31 MPCPDC y de lo cual tiene un reporte de quema de 2.02 y el resto lo usa para consumo en campo y para envío por gasoductos; sin embargo, también se observa en la gráfica que existen dos campos Cusiana (un área en contrato con Equion y la otra con Ecopetrol), si se suman los volúmenes de quema de estas dos áreas, Cusiana sería el campo con mayor reporte de quema de gas, con una producción total entre las dos áreas de 804.42 MPCPDC de lo cual queman 2.22 y el resto lo distribuye para reinyección, consumo en campo y entrega a gasoducto.



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



Grafica 2 Volumen de Gas Quemado por Campo en el Departamento de Casanare (2012)



Fuente: Autores

2.1.2.1 Facilidades Centrales de Producción Cupiagua

En esta facilidad se reciben los fluidos crudo, gas y agua, provenientes de los pozos del campo Cupiagua y Cupiagua Sur, en un punto común llamado múltiple o manifold, para realizar los procesos de estabilización de los fluidos, separación primaria del gas, calentamiento, separación trifásica de alta, media y baja presión (crudo, gas y agua), compresión y reinyección de gas; como medida de seguridad los equipos instalados en el CPF cuentan con sistemas de alivio de presión que permiten que el gas en exceso se dirija y sea quemado en las Teas (tipo antorcha elevada), estas están ubicadas en una zona o área de Teas conformada por 4 Teas³.

Imagen 1 Localización general del CPF Cupiagua



Fuente: ECOPETROL S.A. (2012). ICA CPF Cupiagua

³ Ecopetrol S.A. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental CPF Cupiagua*. Bogotá D.C: ANLA.

2.1.2.2 Facilidades Centrales de Producción Cusiana

En el CPF Cusiana se reciben los fluidos (crudo, gas y agua) provenientes de los pozos del Campo Cusiana en el manifold, en donde luego se realiza el mismo proceso para el gas descrito anteriormente en el CPF Cupiagua.

Actualmente el CPF Cusiana cuenta con 20 fuentes de emisión, de las cuales 16 son de tipo puntual en operación como hornos, turbo compresores, turbo generadores, motores compresores y motores generadores a combustión interna y externa; y 4 son de tipo volumen llamadas Teas. Adicionalmente, se instalaron 2 nuevas fuentes fijas que corresponden al Horno de la Planta de GLP y a la Tea del llenadero de cargue del GLP⁴.

Imagen 2 Localización general del CPF Cusiana



Fuente: EQUION. (2012). ICA CPF Cusian

2.1.2.3 Campo Floreña

La licencia ambiental global otorgada al EPF Floreña (Res. 2058 de 2007) autoriza a la empresa encargada la realización de las siguientes actividades: Completamiento,

⁴ Equion Energía Limited. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental para el Bloque Santiago de las Atalayas, Tauramena y Río Chitamera del CPF Cusiana*. Bogotá D.C: ANLA.

Pruebas cortas y extensas de producción, mantenimiento y trabajo de pozos, reacondicionamiento y workover, donde los fluidos son separados y el gas durante la operación es conducido hasta el pozo Floreña C y de ahí hacia el EPF Floreña mediante líneas de flujo y durante las pruebas de producción es eliminado en la Tea horizontal⁵.

2.1.2.4 Campo Tocaria

El campo tocaria está conformado por 11 pozos y la estación, para el 2011 contaba con 4 pozos productores, 2 para inyección de agua y 5 inactivos. La estación tocaria comprende las áreas de infraestructura de producción, facilidades de apoyo, sistemas de tratamiento y disposición de residuos y a su vez cuenta con un sistema de Teas: de alta y de baja presión⁶.

La estación cuenta con 2 Teas activas, estas miden 15 m de altura desde el codo hasta la parte superior más la diferencia con respecto al piso que es de 60 cm aproximadamente. Dando cumplimiento a lo estipulado por Corporinoquia, construyeron un dique de contención con drenaje conectado a caja trampa.

Imagen 3 Vista general de una de las Teas



⁵ Equion Energía Limited. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental Área de desarrollo Floreña*. Bogotá D.C: ANLA.

⁶ Perenco Colombia Limited. (2011). *Informe de Cumplimiento Ambiental Campo Tocaria*. Bogotá D.C: ANLA.



Fuente: PERENCO. (2011). ICA Campo Tocaria

2.1.2.5 Campo Morichal

La estación del campo Morichal fue construida con la perforación del pozo Morichal 1, el cual es productor de petróleo y en especial de gas natural de la formación Mirador, con una producción de gas aproximada a los 2246 MSCFD. Posteriormente, se perforaron más pozos los cuales son productores de gas especialmente con pocas trazas de petróleo. La estación del campo Morichal consta de un Múltiple de llegada donde recibe los fluidos provenientes de los pozos de producción del respectivo campo y este los direcciona hacia los separadores de prueba, luego es enviado al separador Scrubber bifásico, donde el gas es pasado al amortiguador de descarga y posteriormente al gasoducto que va hacia la estación Tocaria. Este campo cuenta con 2 teas, en donde se queman los excesos de gas⁷.

Imagen 4 Teas Campo Morichal



Fuente: PERENCO. (2012). ICA Campo Morichal

⁷ Perenco Colombia Limited. (2011). *Informe de Cumplimiento Ambiental Campo de Producción Morichal*. Bogotá D.C: ANLA.

2.1.2.6 Campo la Gloria

El Bloque de producción Casanare A1a, cuenta con la estación de recolección La Gloria, en donde hay un total de 12 pozos productores, 4 pozos inyectores y 4 pozos inactivos, donde se emplean dos sistemas de levantamiento: por Gas Lift y por Bombeo electro-sumergible.

Las facilidades de la estación la Gloria cuentan con formaciones productoras que aportan gas, crudo y agua, que obligan a disponer de equipos en superficie, específicos para cada tipo de fluido, donde este fluido es separado y luego el gas es enviado al quemador o Tea⁸.

Imagen 5 Tea estación la Gloria



Fuente: PERENCO. (2012). ICA Bloque Casanare A1a

⁸ Perenco Colombia Limited. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental para el Bloque de producción Casanare A1a*. Bogotá D.C: ANLA.

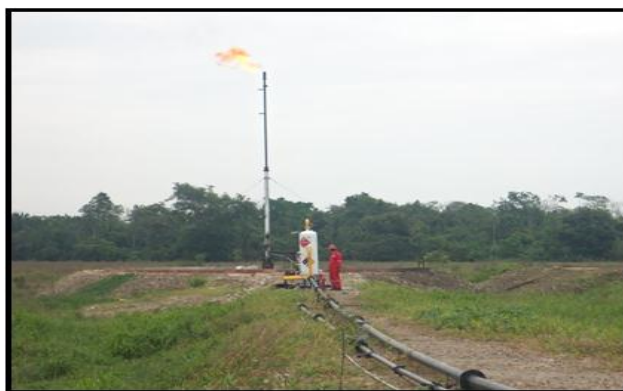
2.1.2.7 Campo Balay

Dentro del Bloque Balay, PETROBRAS ha desarrollado actividades de perforación exploratoria en los pozos Balay 1 y 2 pertenecientes a la plataforma multipozos Balay A y el pozo Balay 3 de la plataforma Balay B. En la plataforma Balay A, se encuentra instalada la infraestructura de pruebas de producción, consistente en cabezal de prueba, válvulas, manifold, separador de prueba, tanque de prueba, frac tanks para almacenamiento de crudo, scrubber y Tea⁹.

2.1.2.8 Campo Caruto

Durante el periodo comprendido entre febrero y julio de 2011 se culminaron las actividades de pruebas extensas de producción y se dio inicio a las actividades de operación de las facilidades establecidas en la locación Caruto, en donde se reciben los fluidos (crudo, gas y agua) provenientes de los pozos Caruto 1 y Cardenal 1, seguido se realizan los procesos de separación correspondientes y como medida de seguridad los equipos instalados en la Estación Caruto cuentan con un sistema de alivio de presión, el cual permite que el gas en exceso se dirija y sea quemado en la Tea¹⁰.

Imagen 6 Tea Facilidades Caruto



Fuente: PETROMINERALES. (2012). ICA campo de perforación exploratoria Corcel Noreste Caruto (anexo 1)

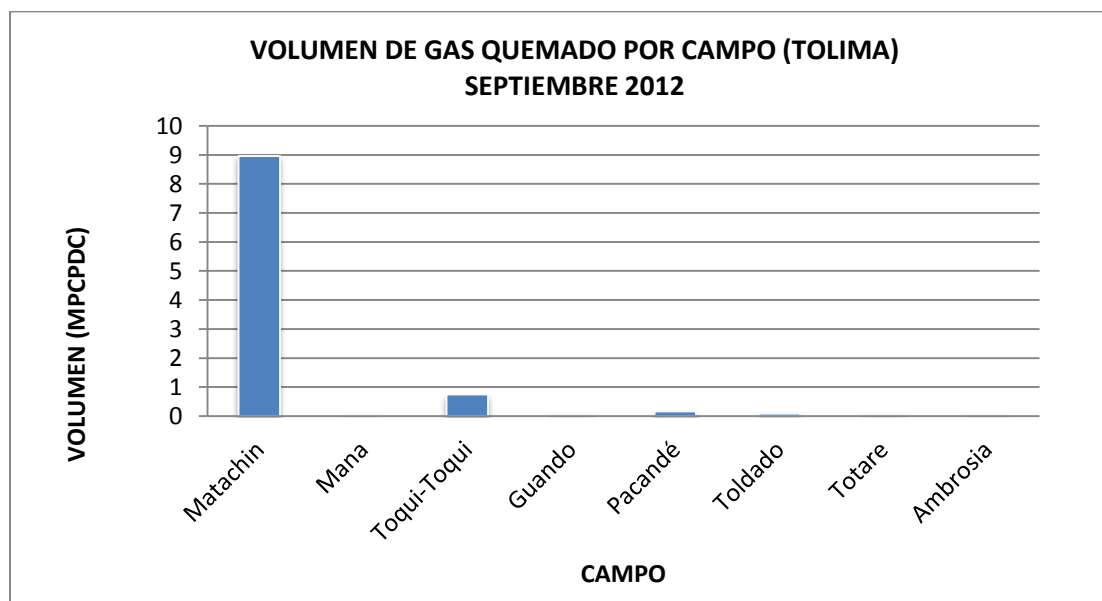
⁹ Petrobras. (2011). *Estudio de Impacto Ambiental Área de interés de desarrollo Bloque Balay*. Bogotá D.C: ANLA.

¹⁰ Petrominerales. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental para el Campo de Perforación Exploratoria Corcel Noreste CARUTO*. Bogotá D.C: ANLA.

2.1.3 Departamento de Tolima

El departamento de Tolima dentro de la producción de gas presenta 11 campos de los cuales un total de 8 campos queman gas dentro de sus operaciones productivas según los reportes del Ministerio de Minas y Energía para el periodo de 2012. Según el grafico, el Campo Matachín es el que más quemo gas en todo el territorio del Tolima con un valor de 8,96 MPCPDC seguido del campo Toqui-Toqui con un volumen de 0,75 MPCPDC.

Grafica 3 Volumen de Gas Quemado por Campo en el Departamento de Tolima (2012)



Fuente: Autores

Como muestra la figura anterior se observa la cantidad considerable de gas quemado del campo Matachín con respecto a los 7 campos restantes que queman gas, ya que estos ni siquiera llegan al millón de pies cúbicos. Cabe señalar que este campo tiene una producción de gas de aproximadamente 14 MPCPDC, lo que indica que no se está



quemando todo el gas de producción, pero si una pequeña cantidad la disponen para reinyección y consumo en campo.

2.1.3.1 *Campo Matachín*

El campo cuenta con 11 plataformas multipozo, 2 estaciones de producción, estación Matachín Norte y Matachín Sur, en estas estaciones se lleva a cabo el tratamiento, almacenamiento y fiscalización de los fluidos producidos en el campo¹¹. A continuación se realiza la descripción de la infraestructura del campo Matachín de las unidades que tienen sistema de quema de gas TEAS.

- **Venganza F:** La plataforma venganza F, tiene 2 pozos de producción, 3 de inyección y 1 de perforación, dentro del sistema se encuentra un sistema de acopio de tea donde hay una zona para la quema de gases.
- **Venganza I:** La plataforma venganza I, tiene dentro de su estructura 4 pozos productores y 1 pozo de perforación. Tiene un sistema de tea para la quema de gases, y se reporta que todas las estructuras se encuentran en buen estado.
- **Venganza J:** La plataforma venganza J, tiene un total de 2 pozos productores para sus operaciones. Tiene una tea para la quema de gases.
- **Venganza 3:** La plataforma venganza 3, tiene un pozo inyector y un sistema de tea.

La estación Matachín Norte, recibe producción de 26 pozos y un pozo inyector, el proceso que se realiza en esta estación consiste en la separación del crudo, el agua y el gas generados en el proceso de los pozos venganza. La estación cuenta con dos TEAS, una TEA de alta y una TEA de baja presión y maneja una producción de 6,38 MPCPDC de gas.

¹¹ Petrobras. (2012). *Actualización del Plan de Manejo Ambiental del campo Matachín Norte y Sur*. Bogotá D.C: ANLA.

Imagen 7 Tea de alta y de baja estación Matachín norte



Fuente: PETROBRAS. (2012). Actualización PMA Campo Matachín Norte y Sur

La estación Matachín Sur, cuenta con 5 pozos de producción, un pozo para inyección de agua y un pozo para inyección de gas. El gas de producción es enviado a tanques de gas para ser utilizado como combustible en el proceso y otra cantidad es enviada a procesos de reinyección. La estación cuenta con dos TEAS, una de alta y una de baja y reporta la producción de gas para ese periodo con un valor de 1,48 MPCPDC.

Imagen 8 Tea de alta y tea de baja estación Matachín sur



Fuente: PETROBRAS. (2012). Actualización PMA Campo Matachín Norte y Sur



La TEA de alta de la estación Matachín Sur, reporta la capacidad de manejo con un valor de 10 MMSCFD y una altura de 75 pies.

Según el estudio, la metodología utilizada para la estimación de las emisiones fue el uso de factores de emisión, los cuales se obtuvieron del documento AP-42 Agencia de Protección Ambiental. Según el análisis de resultados del estudio:

- **Matachín Norte y Matachín Sur:** Para estos dos campos, las concentraciones generadas por los contaminantes PST, SO_2 y NO_x , no superan los límites de contaminación atmosférica según la OMS (Organización Mundial de la Salud) y la resolución 610 de 2010 en los límites a 24 horas y anuales.
- **Venganza 6:** Las concentraciones de PST y NO_x no reportaron valores que evidencien afectación a los receptores aledaños, debido a que las concentraciones no superan los límites exigidos por la OMS y la Resolución 610 de 2010. Por otra parte, los pozos Venganza 6 y Venganza 9 no registraron emisión de dióxido de azufre, la mención que realiza el laboratorio es que la base de datos de AP-42 no indica un factor de emisión para SO_2 en teas.

2.1.3.2 Campo Guando

Dentro del Campo Guando se reportan 21 localizaciones llamadas islas. La infraestructura petrolera del campo cuenta con 196 pozos de los cuales 110 son productores de crudo, 62 son inyectoros de agua, 1 es inyector de gas, 4 están abandonados y 19 se encuentran temporalmente cerrados.

Para el manejo del gas se tiene un sistema de desfogue y alivio de presión en la estación de producción, este sistema está conformado por un conjunto de líneas de

flujo, scrubber, bombas de transferencia y TEAS o quemaderos de baja o alta presión.

El gas es distribuido de la siguiente manera¹²:

- A las Torres desoxigenadoras.
- A la succión de los moto-compresores ubicados en terraza cinco.
- A la isla seis y terraza seis para consumo de vasijas y/o quemado.
- Finalmente es distribuido a los moto-generadores para alimentar el sistema de generación de energía del campo.

Las TEAS en el campo Guando tienen una altura superior a los 15 metros, con un dique de confinamiento en su base en caso de presentarse alguna contingencia; el encendido se realiza de forma automática desde la base para minimizar los riesgos en su manipulación.

Imagen 9 Tea isla 6 campo Guando



Fuente: PETROBRAS. (2012.). ICA para el Desarrollo y Producción del Campo Guando

- **Monitoreo de Radiación Térmica y Temperatura:** Durante el periodo de abril de 2012, Petrobras realizó un monitoreo de radiación térmica y temperatura en el campo Guando para las fuentes que producen e irradian calor en forma de ondas; este es presentado a manera de ilustración en el *Anexo 4*.

¹² Petrobras. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental para el Desarrollo y Producción del Campo Guando*. Bogotá D.C: ANLA.

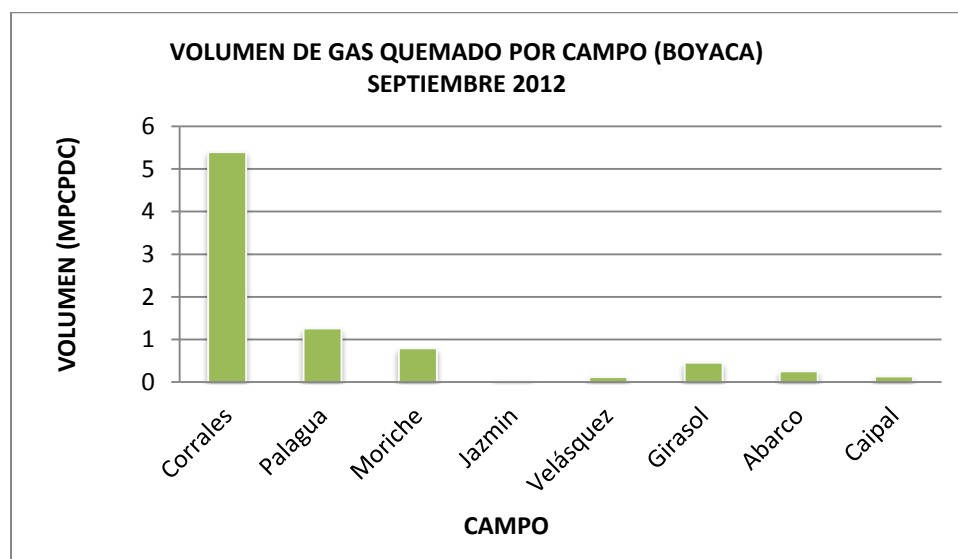


Según el reporte del monitoreo lo obtenido es que los índices de radiación térmica no superan los límites establecidos por la normatividad internacional, (teniendo en cuenta que a nivel nacional no se considera un impacto ambiental la radiación térmica). Ya que el nivel de exposición establecido por la AMERICAN PETROLIUM INSITITUTE (API) es de 1600 Watt/m² y según el monitoreo los niveles máximos de radiación térmica fueron a los 0 metros de distancia de la Tea con un promedio de 581 Watt/m² mientras que los valores mínimos se reportaron a los 30 metros de distancia de medición de la Tea.

2.1.4 Departamento de Boyacá

El departamento de Boyacá también se destaca dentro de los que queman una cantidad considerable de gas; para septiembre de 2012 el campo corrales es de gran importancia ya que como se mencionó en el análisis territorial este campo tras sus inicios de operaciones en el año 2010 quemo casi el 80% del volumen de gas que se reporta para el departamento de Boyacá. El volumen quemado por el campo corrales para este periodo fue de 5.4 MPCPDC seguido del campo Palagua con un volumen de 1.26 MPCPDC, teniendo en cuenta que el volumen quemado en estos dos campos esta aproximadamente entre el 70% y el 90% del gas de producción.

Grafica 4 Volumen de gas Quemado por Campo en el Departamento de Boyacá (2012)



Fuente: Autores

2.1.4.1 Campo Corrales

El campo corrales pertenece al Área de Interés para el Desarrollo del Campo Buenavista; mediante la licencia ambiental otorgada por la resolución 1156 de 2007, se autorizó por parte de la autoridad ambiental la quema de gas que se genere en las pruebas de producción del campo mediante la utilización de Teas que permitan una combustión completa. Los sistemas de Teas como lo reporta el ICA se construyeron durante la etapa pre-operativa¹³. En uno de los anexos presentados por parte del informe se observó el registro fotográfico para la adecuación de la Tea durante las pruebas de producción del campo.

¹³ Unión Temporal Omega Energy. (2011). *Informe de Cumplimiento Ambiental pozo Corrales 1*. Bogotá D.C: ANLA.

Imagen 10 Adecuación de la tea campo corrales



Fuente: UNION TEMPORAL OMEGA ENERGY. (2011). ICA para el pozo Corrales 1.

2.1.4.2 Campo Palagua

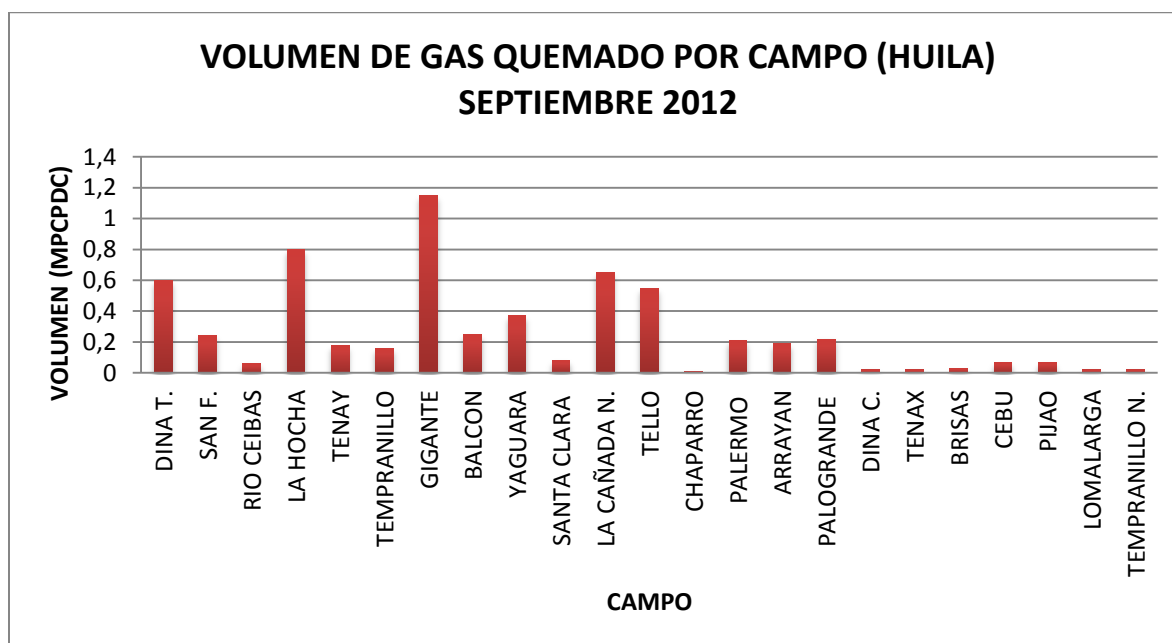
El campo Palagua cuenta con 136 pozos de producción. Según el reporte del ICA la producción de gas es aproximadamente de 2045 Kpcd y este es consumido en las facilidades de producción del campo Palagua Caipal, que resulta del proceso de operación un gas remanente que se quema en la TEA¹⁴ instalada en la estación No. 2.

2.1.5 Departamento del Huila

En el departamento del Huila existen 23 campos de exploración y/o explotación que reportan un determinado volumen de quema de gas según el reporte de producción de gas por campo del Ministerio de Minas para el mes de Septiembre de 2012. Cabe resaltar que estos campos están ubicados en el gráfico de mayor a menor productor de gas.

¹⁴ Ecopetrol S.A. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental campo de producción Palagua*. Bogotá D.C: ANLA.

Grafica 5 Volumen de Gas Quemado por Campo en el Departamento del Huila (2012)



Fuente: Autores

En este departamento el aporte al volumen de gas quemado lo hacen varios campos contribuyendo con un volumen de quema muy variado; como se puede evidenciar en el gráfico, los campos con mayor relevancia en la quema de gas son Gigante, La Hocha, La Cañada Norte y Dina Terciarios en ese orden respectivamente, donde Dina Terciarios es el campo que mayor producción de gas reporta para este departamento con 4.02 MPCPDC, los cuales distribuye de la siguiente forma: 0.60 lo destina para quema, 1.84 para consumo en campo, 0.62 enviado a planta, 0.43 a transformación del gas y 0.53 enviado a gasoducto, entonces vemos como su producción es tan alta comparada con la cantidad que destina para quemado y además que está reutilizando el gas para los diferentes procesos del campo; mientras que Gigante tiene una producción relativamente baja comparada con la de Dina Terciarios, que es de 1.15 MPCPDC de los cuales quema 1.15, es decir, está quemando todo el gas de producción.



2.1.5.1 Campos Huila Norte

En este bloque se encuentran operando 12 campos: Dina Terciarios, Tempranillo, Tenay, Brisas, Dina Cretáceos, Santa Clara, Cebú, Palogrande, Pijao, Caimito, Hato Nuevo y Loma Larga, de los cuales 10 de estos están señalados en el reporte de quema de gas.

El área de la SOH¹⁵, cuenta con 305 pozos terminados, de los cuales 253 están activos, 23 inactivos, 30 pozos inyectoros y 29 abandonados; En el proceso de extracción y recolección se generan fluidos que son transportados por medio de líneas de flujo que los conducen desde los pozos hasta las baterías de recolección. Estos fluidos extraídos de los pozos productores son procesados en 6 baterías: Terciarios, Cretáceos, Brisas, Santa Clara, Loma Larga y Cebú, las cuales se encuentran distribuidas en los diferentes campos, a continuación se realiza la descripción del proceso en las baterías que tienen sistemas de quema de gas (teas):

- **Batería Brisas:** recibe los fluidos de los pozos de producción del campo Brisas. En esta estación solo se realiza la separación gas – líquido; el gas es aprovechado en los procesos internos y los excesos son quemados en la Tea.
- **Batería Loma Larga:** recibe la producción de los pozos del campo Loma Larga, el gas obtenido de esta batería es utilizado para autoconsumo local del generador a gas que se encarga de suministrar la energía a todos los equipos de superficie y los excesos son enviados a la Tea.
- **Estación Tempranillo:** En esta se recibe la producción de los pozos del campo tempranillo, donde se realiza a su vez la separación gas – líquido, este gas es quemado en la Tea de esta locación.

La planta de gas tiene una capacidad de procesamiento de 10 MMscfd para el gas procedente de los campos anteriormente mencionados, para producir 8.06 MMscfd de

¹⁵ Ecopetrol S.A. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental al Plan de Manejo Ambiental Integral Campos Huila Norte. Superintendencia de Operaciones del Huila (SOH)*. Bogotá D.C: ANLA.

gas combustible o gas de venta; la reducción de emisiones con la puesta en marcha de la Planta de gas es aproximadamente de un 52% de lo que se emitía sin la operación de dicha planta. Esta cuenta con 2 teas para manejo de excesos.

Imagen 11 Teas Planta de Gas



Fuente: ECOPETROL S.A. (2011). ICA al PMAI Campos Huila Norte

No se realiza ningún tipo de estimativo para emisiones por teas. Se realizó un monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la operación de los Campos Huila Norte, donde se midieron los parámetros de partículas en suspensión, óxidos de Nitrógeno y monóxido de Carbono, los resultados obtenidos para dichos parámetros monitoreados fueron concentraciones inferiores a los límites máximos establecidos en la Resolución No. 610 de 2010. La evaluación y los resultados del monitoreo realizado en el mes de Diciembre de 2010 fueron presentados por la empresa ANTEK S.A.

2.1.5.2 Campos San Francisco, Balcón y Palermo (Asociación Palermo)

Según la resolución 3463 del 11 de Noviembre de 2010, por la cual se renueva el permiso de emisiones atmosféricas, la Asociación Palermo cuenta con 3 estaciones de producción donde se generan emisiones atmosféricas: Batería Monal, Batería Satélite y Batería Balcón¹⁶.

¹⁶ Hocol S.A. (2010). *Informe de Cumplimiento Ambiental Asociación Palermo*. Bogotá D.C: ANLA.



- **La Batería Monal:** tiene una producción promedio de gas de 1.797.000 pies cúbicos por día, de los cuales son quemados en la Tea de esta estación 188.000 pies cúbicos por día, el volumen restante es utilizado para consumo propio de la operación del campo.
- **La Batería Satélite:** genera 2.086.000 pies cúbicos promedio diario mes de gas natural, de los cuales son quemados en la Tea de dicha estación 188.000 pies cúbicos diariamente y el restante es consumido para la operación de los equipos de las baterías comprimido en el centro de generación de energía.
- **La Batería Balcón:** produce en promedio 1.246.000 pies cúbicos de gas por día, de los cuales se queman en la Tea de dicha estación 421.000 pies cúbicos por día y el resto es enviado al centro de generación de energía.

Como parte del control en la generación de las emisiones atmosféricas en los campos de la Asociación Palermo, HOCOL S.A ha venido realizando las siguientes actividades:

- Las teas cuentan con sistema scrubber para manejar condensados.
- Se realiza mantenimiento e inspecciones constantes y sincronización de la combustión en las teas para garantizar combustión completa.
- Se realiza mantenimiento preventivo a sistemas de generación y motores de combustión interna.
- Se realiza revisión periódica de válvulas, conductos, tanques y mangueras de combustible para evitar fugas de hidrocarburos volátiles.
- Uso del gas producido como combustible de los sistemas utilizados en el campo.

2.1.5.3 Campo la Hocha

El CPF del Campo La Hocha cuenta con los siguientes sistemas de operación¹⁷:

¹⁷ Hocol S.A. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental para la explotación del campo La Hocha*. Bogotá D.C: ANLA.



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS

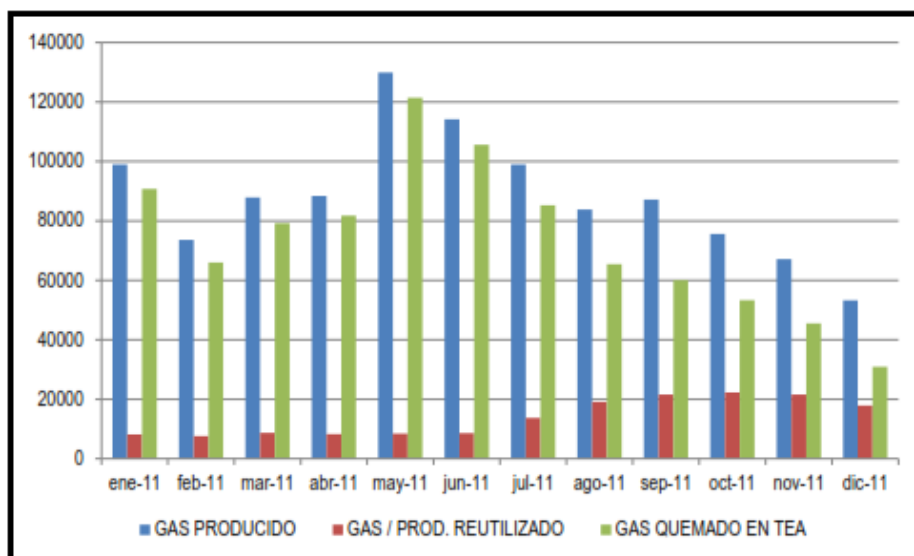


- Manifold de recibo al separador principal y de prueba y respaldo.
- Sistema de gas de anulares y gas de producción
- Sistema de gas combustible y Sistema de Tea
- Primer y segundo Gum Barrel
- Separador de prueba
- Adición de Agua Fresca y Sistema de agua entre Gum Barrel 1 y 2.

La función principal de estas instalaciones consiste en recibir toda la producción proveniente de los pozos, efectuar los procesos de separación gas – líquido y tratamiento aceite – agua; el gas asociado se envía al sistema de Tea y a los sistemas de generación eléctrica para ser usado como combustible en las actividades del Campo.

En la siguiente figura se muestra el comportamiento de la reutilización del gas natural, la producción de gas asociado a la producción y el gas excedente que está siendo quemado en la Tea, para el año 2011.

Grafica 6 Producción, Reutilización y Quema del gas asociado



Fuente: HOCOL S.A. (2011). ICA La Hocha 2011

En esta grafica se puede observar que a pesar de que se hace reutilización del gas, la cantidad que se quema sigue siendo alta comparada con la reutilizada, sin embargo en los últimos meses se observa que baja tanto la producción como la quema y por el contrario la cantidad de gas reutilizado sube. A continuación la imagen de la Tea del campo la hochá.

Imagen 12 Tea Campo La Hocha



Fuente: HOCOL S.A. (2011). ICA La Hocha 2011

2.1.5.4 Campo Gigante

Bloque de perforación exploratoria Matambo dentro del cual se encuentra el campo de producción Gigante con sus respectivos pozos de producción como Gigante-1A y la plataforma multipozos Gigante 7¹⁸.

¹⁸ Emerald Energy Plc Sucursal Colombia. (2011). *Plan de Manejo Ambiental para la perforación de la Plataforma Multipozos Gigante 7*. Bogotá D.C: ANLA.

Imagen 13 TEA del Pozo Exploratorio Gigante 1A



Fuente: EMERAL ENERGY. (2011). PMA Plataforma Multipozos Gigante 7

El proceso de exploración de los pozos de la plataforma Gigante 7 se realiza de forma convencional y cuenta con las siguientes operaciones generales: movilización, montaje, operación de perforación y pruebas de producción (cortas y extensas). En las pruebas de producción se obtiene crudo, gas y agua; el gas resultante de las pruebas se quema en una Tea convencional.

- **Características de operación:** Para la operación de la tea se requiere del paso del gas por el sistema de separación scrubber con el fin de retirar la mayoría de líquidos. Posteriormente, el gas fluye por un cabezal y atraviesa un flame arrestor para evitar que la llama haga retroceso o se devuelva desde la tea, por último el gas asciende por la misma y se quema con la ayuda de un piloto.

2.1.5.5 Campo la Cañada Norte

Para el año 2009 el área de producción Cañada Norte ya contaba con 5 pozos activos, Cañada Norte 1, 2, 3, 4, las facilidades tempranas de producción Cañada Norte 5 y la puesta en marcha de la perforación del pozo Cañada Norte 7. El gas de producción del



pozo Cañada Norte 7 es usado como combustible para el equipo de levantamiento artificial y el sobrante es enviado a la Tea¹⁹.

El sistema de quemado horizontal (TEA), no tiene una altura menor de 15 metros y está alejada del área de operaciones, orientada de acuerdo a los vientos predominantes en la zona, de modo que no se afecten las instalaciones.

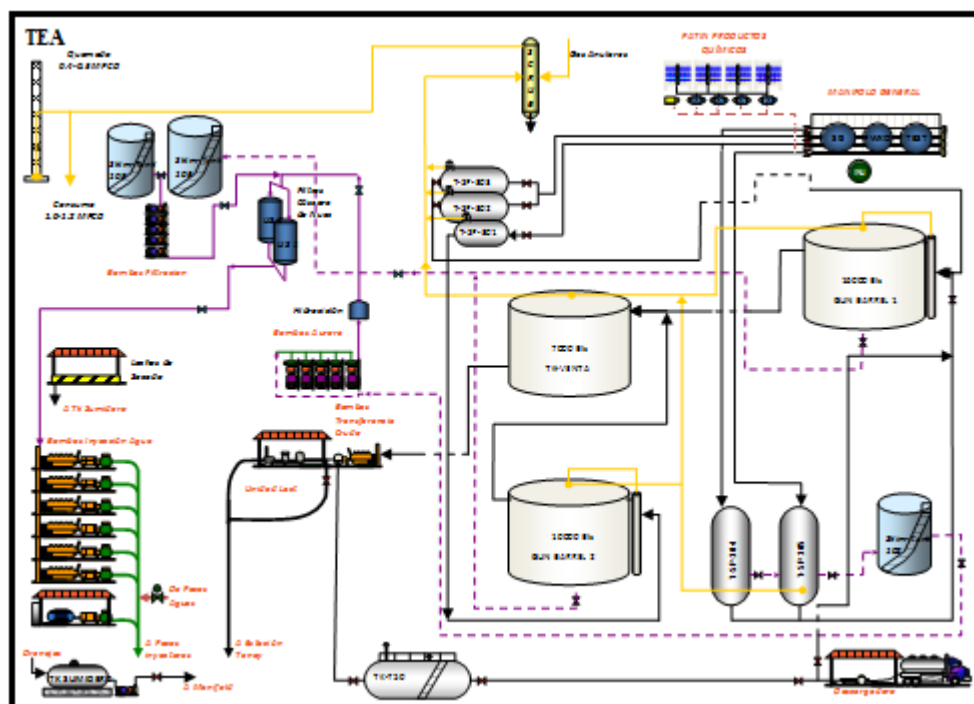
2.1.5.6 Campo Tello

El campo Tello cuenta con una estación de recolección llamada batería Tello, allí se reciben los fluidos de producción de los pozos del campo Tello y la Jagua, con el fin de separar el gas y el agua del crudo; el gas derivado de los procesos llevados a cabo en los separadores pasa inicialmente por el separador de crudos limpios y luego por el scrubber general donde se remueven los condensados, impurezas y arrastres de crudo; De ahí una parte se deriva para el funcionamiento del sistema de bombas de combustión interna y el gas sobrante proveniente de los anulares de los pozos, de los tanques y las válvulas de seguridad del scrubber general, finalmente es quemado en la Tea²⁰.

¹⁹ Hocol S.A. (2009). *Plan de Manejo Ambiental para la perforación del pozo la Cañada Norte 7*. Bogotá D.C: ANLA.

²⁰ Ecopetrol S.A. (2010). *Actualización del Plan de Manejo Ambiental Integral Campo de producción Tello*. Bogotá D.C: ANLA.

Figura 3 Proceso de operación de la Batería Tello



Fuente: ECOPETROL S.A. (2010). PMA campo Tello

2.1.5.7 Campo Arrayan

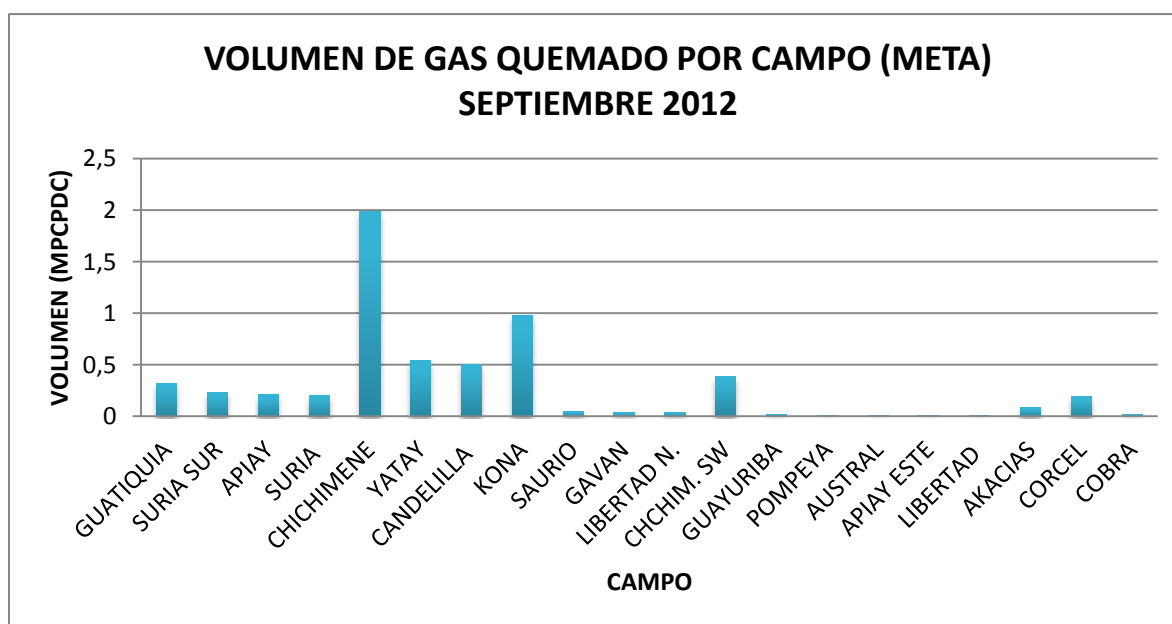
En el PMA se describen las características técnicas que se tiene en cuenta para la perforación de los pozos de desarrollo Arrayan 3 y 4 del campo de producción Arrayan, estos son perforados desde la facilidad existente Arrayan 1 y 2. Para la fase de pruebas de producción se utiliza la Tea del campo de producción Arrayan, con la finalidad de quemar los gases provenientes del proceso de separación²¹.

²¹ Ecopetrol S.A. (2012). *Plan de Manejo Ambiental para los pozos de desarrollo Arrayan 3 y 4*. Bogotá D.C: ANLA.

2.1.6 Departamento del Meta

El departamento del Meta está conformado por 20 campos de exploración y/o explotación que según Ministerio de Minas reportaron un determinado volumen de quema de gas en el mes de Septiembre de 2012.

Grafica 7 Volumen de Gas Quemado por Campo en el Departamento del Meta (2012)



Fuente: Autores

Como se observa en el gráfico, los campos que reportan a diferencia de los demás un alto volumen de quema de gas, son Chichimene y Kona, cada uno de ellos reportan respectivamente una producción de gas de 1.99 y 1.05 MPCPDC, en donde el Campo Chichimene está produciendo y quemando el mismo volumen de gas, es decir, no se está aprovechando o reutilizando este gas para otros procesos del mismo campo, únicamente quema todo lo que produce; por otro lado el Campo Kona reporta un volumen de quema gas inferior al volumen de su producción que es de 0.98 MPCPDC y el resto lo usa para consumo en campo. Cabe resaltar que los campos en este grafico están ordenados de mayor a menor productor de gas, por lo tanto el campo que tiene mayor producción de gas es Guatiquia, pero este lo reutiliza en los diferentes procesos

del campo, su producción por ejemplo es de 5.19 MPCPDC, quema 0.32, para consumo en campo usa 3.38 y para gas transformado 1.48, de igual forma lo hacen los campos como Suria, Suria sur y Apiay, que producen más que Chichimene.

2.1.6.1 Campo Guatiquia

Durante el periodo de octubre de 2011 a marzo de 2012, se llevaron a cabo una serie de actividades en la facilidad temprana de producción Percherón, entre las cuales se encuentra el retiro de una tea de 6" y una de 4", de lo cual se hizo aclaración que en esta facilidad permanecen 3 teas operativas²², conforme lo autorizado en la licencia ambiental.

Imagen 14 Zona de Teas de la facilidad Guatiquia – Percherón



Fuente: PETROMINERALES. (2012). ICA Guatiquia-Percherón

Dentro de la facilidad de perforación exploratoria Percherón se procesó la producción de los pozos Candelilla 1, 2, 3, 4, 5 y Yatay-Azalea, del campo Guatiquia hasta el 14 de octubre de 2011, con las siguientes actividades:

²² Petrominerales Colombia LTDA. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental Área de perforación exploratoria Guatiquia – PERCHERON*. Bogotá D.C: ANLA.

- Transferencia de gas separado de los fluidos del pozo, por medio de una línea de flujo de gas de 6" desde la EPF Percherón a la planta de proceso de gas en el CPF Corcel.
- Quema de gas excedente en la tea de alta y de media.

A partir del 15 de octubre de 2011 la producción de los pozos Candelilla 1, 2 y 5, son trasladadas directamente a las facilidades de producción de Corcel, por ende, el volumen de gas producido está siendo quemado en las teas de esta facilidad pero el reporte de volumen de gas quemado sigue siendo para el pozo Candelilla identificado por el Ministerio de Minas como Campo, mientras que la producción de los pozos Candelilla 3, 4 y Yatay, una parte sigue quemándose en las Teas del campo Guatiquia.

Imagen 15 Facilidades Tempranas de Producción Percherón



Fuente: PETROMINERALES. (2012). ICA Guatiquia-Percherón

Para la ubicación de las teas en la locación Percherón, se tuvo en cuenta la dirección predominante del viento, de manera que cuando estas se encuentren en funcionamiento, no envíen gases, humo y demás hacia la estación, de igual forma se consideró una distancia optima en relación a las áreas de tratamiento, almacenamiento de crudo y zonas de oficinas, con el fin de evitar que la intensidad de calor y radiación afecten al personal de operación. Las teas cuentan con separadores trifásicos para



evitar la acumulación de fluidos que afecten la quema de gas, sin embargo están siendo verificados, puesto que la eficiencia de las teas no es la esperada.

2.1.6.2 Campo Apiay

Dentro del Campo Apiay, se encuentran las áreas petroleras de Apiay, Suria y Reforma – Libertad.

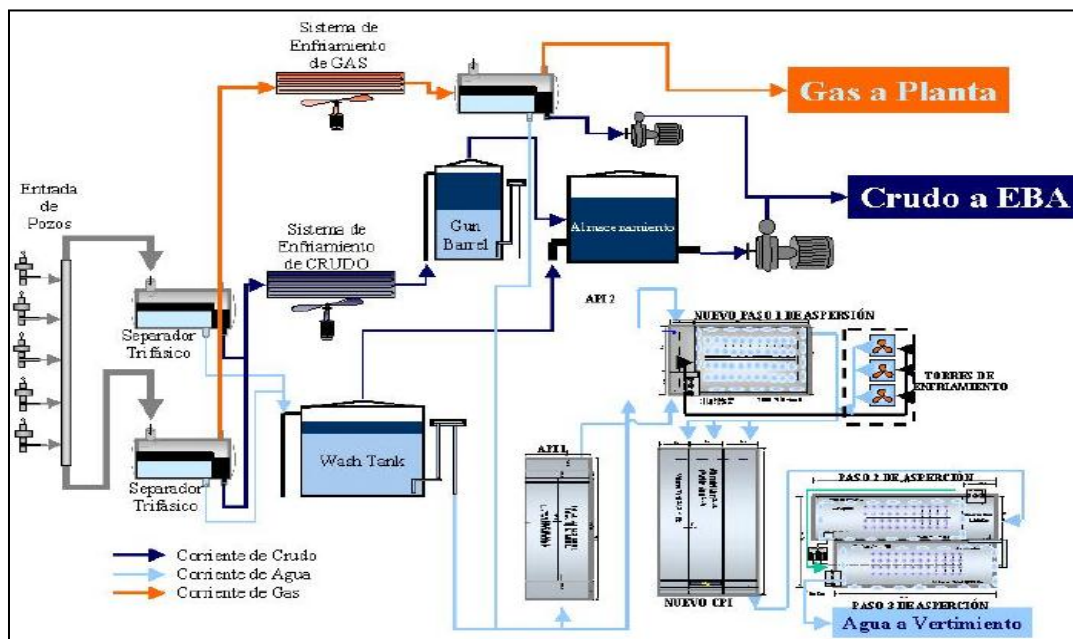
- **Área de Apiay**

Esta área cuenta con la Estación de Recolección Apiay (ERA), la cual recolecta y trata los fluidos producidos por los pozos de Apiay, Apiay Este, Gavan y Guatiquia, para despacharlos a la Planta Apiay.

El gas rico que se desprende en este proceso es llevado a través de una tubería a la planta de gas para su tratamiento, el gas pobre es usado en procesos industriales o quemado en la Tea²³ que se encuentra ubicada a una distancia aproximada de 60 metros de la estación (ERA). En la ERA hay sistemas conexos o auxiliares fundamentales para la operación y seguridad del núcleo. Se cuentan entre estos, el sistema de Tea, el cual recoge pequeños sobrantes de gas de todos los módulos de la estación y de las descargas de válvulas de seguridad.

²³ Ecopetrol S.A. (2011). *Plan de Manejo Ambiental campo Apiay de la Superintendencia de Operaciones Apiay (SOA)*. Bogotá D.C: ANLA.

Figura 4 Esquema de tratamiento de la Estación de Recolección Apiay (ERA)



Fuente: ECOPETROL S.A. (2011). PMA Campo Apiay SOA

Esta área cuenta también con una planta de gas, en la cual se reciben flujos extraídos del Campo Apiay y separados primariamente en las estaciones de recolección de crudos de Apiay, Suria y Reforma – Libertad.

Imagen 16 Vista general de la planta de gas de Apiay



Fuente: ECOPETROL S.A. (2011). PMA Campo Apiay SOA



La planta tiene un sistema de mezclado de gases y secciones de separación de fases, filtrado por absorción, enfriamiento, compresión, retiro de condensados, almacenamiento y despacho. Finalmente, el gas se somete a compresión que se aprovecha para retirar más líquidos, luego el gas Natural producto de todo este proceso es enviado para consumo Doméstico en la ciudad de Villavicencio y Bogotá. Un excedente de gas (residuo) es quemado en la Tea que hace parte de la Planta de Gas.

Operación de la Tea de la Planta de Gas: Esta se encuentra operando las 24 horas al día, proceso de quema de gas (seco, húmedo y GLP). Esta TEA quema al año aproximadamente 277408 KPC (según cálculos de gas quemado en TEA en Planta de gas Apiay, Estudio Reporte Final de emisiones para producción en la Gerencia Central de los Llanos – GEC Diciembre 2009), según el PMA Campo Apiay SOA año 2011 (capítulo 4).

- **Área de Suria y Reforma – Libertad**

Estas áreas cuentan con la Estación de Recolección Suria y la Estación de Recolección Reforma; La Estación de Recolección Suria, recolecta y trata los fluidos producidos por los pozos de Suria, Suria Sur, Tanané, Ocoa, Saurio, Pompeya, Guayuriba, Austral y Quenane, para despacharlos a la Planta Apiay. La Estación de Recolección Reforma, recolecta y trata los fluidos producidos por los pozos de Libertad, Libertad Norte y Reforma para despacharlos a la Estación de Bombeo de Apiay, a través de la línea Suria.

La Estación Suria se encuentra operando en el proceso de uso del gas con un sistema de generación de energía (Termo-eléctrica Termosuria) y un sistema de Tea de baja presión. Por otra parte, La Estación Reforma – Libertad también cuenta con un sistema de Tea de baja presión.

Proceso del gas antes de ingresar a la Tea: La línea de descarga de la válvula de seguridad, se une con el gas de la bota del tanque y con los desfuegos de toda la

estación en el *drum*, para finalmente ingresar al *drum* de tea, en donde se retiran los condensados del gas que va a ser quemado.

Imagen 17 Drum de Tea y Tea de la estación Reforma - Libertad



Fuente: ECOPETROL S.A. (2011). PMA Campo Apiay SOA

Estimativo de Emisiones mediante factores de Emisión: Según el PMA Campo Apiay SOA año 2011 (capítulo 3), se obtuvo unos estimativos de emisiones mediante el mecanismo de Factores de Emisión; en el año 2009, para obtener dicho estimativo de las emisiones por factores de emisión de las fuentes no medidas se tuvo en cuenta el poder calorífico del combustible junto con el factor de emisión del contaminante a evaluar; los factores de emisión fueron tomados del documento AP-42 “Compilation of Air Pollutions” de la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. Únicamente se evaluaron las 2 teas del Área Apiay, es decir, la tea de la planta de gas y la tea de la ERA.

No se realizó ningún tipo de análisis al hallar la emisión por teas para dichos contaminantes, se puede suponer que es debido a que las teas no se encuentran contempladas dentro de la normatividad para fuentes fijas (Res. 610/10).



2.1.6.3 *Campo Chichimene*

El campo Chichimene actualmente cuenta con 57 pozos productores y 2 abandonados²⁴; también cuenta con la Estación de recolección y tratamiento Chichimene la cual opera con los siguientes sistemas:

- Sistema de recolección de fluidos
- Sistema de separación de gas, crudo y agua
- Sistema de enfriamiento del gas y recuperación de condensados
- Sistema de tratamiento de crudo
- Sistema de tratamiento de aguas de producción
- Sistema de almacenamiento y envío de crudo a la Planta Castilla o Planta Apiay
- Sistemas auxiliares: Sistema de Tea de baja presión y sistema de generación de energía.

El proceso de separación del gas en esta estación se realiza con separadores verticales Gas-Líquido comúnmente conocidos como “*Scrubbers*”. Por el tope del “*Scrubber*” sale el gas hacia una Tea de 9 metros de altura y 6 pulgadas de diámetro. Además, se cuenta con conexión a las calderas para alimentación de gas en el proceso de generación de vapor utilizado en los intercambiadores de calor.

2.1.6.4 *Campo Kona*

Este campo exploratorio cuenta con un quemador, donde es quemado el gas generado en las pruebas de producción. A continuación se describen algunas características del quemador que se presentan en el PMA de este campo²⁵:

- Tubo conductor.

²⁴ Ecopetrol S.A. (2010). *Actualización PMA del Bloque Castilla de la Superintendencia de Operaciones Castilla – Chichimene (SCC)*. Bogotá D.C: ANLA.

²⁵ Petro Andina Colombia. (2010). *Plan de Manejo Ambiental para la perforación del pozo exploratorio Kona*. Bogotá D.C: ANLA



- Se contempla un tubo elevado a una altura mínima de 5 m.
- Localizado en una zona libre de vegetación (mínimo 5 m. a la redonda), teniendo en cuenta la dirección del viento.
- La zona de la Tea, es demarcada con una malla metálica o cinta plástica de peligro, a una distancia prudencial para evitar que se queme.

2.1.6.5 Campo Corcel

En la operación de la facilidad de producción del campo, en Corcel A, se reciben los fluidos (crudo, gas y agua) provenientes de los pozos del campo Corcel, posteriormente se realizan los procesos de estabilización de los fluidos, separación primaria del gas, calentamiento, separación trifásica de alta presión, separación bifásica de baja presión, almacenamiento y transporte; como medida de seguridad los equipos instalados en la estación Corcel A cuentan con un sistema de alivio de presión, este sistema permite que el gas en exceso se dirija y sea quemado en las Teas²⁶.

Imagen 18 Vista general de la Facilidad Corcel A



Fuente: PETROMINERALES. (2012). ICA campo de producción Corcel, Facilidades Corcel A (anexo 1)

²⁶ Petrominerales. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental para el Campo de Producción CORCEL, Facilidades Corcel A para plataformas multipozos Corcel A, C, D y EF*. Bogotá D.C: ANLA.

Como se observa en la siguiente imagen, la Facilidad Corcel A cuenta con una zona de Teas compuesta por 2 teas: una tea de alta y una de baja presión.

Imagen 19 Teas de la Facilidad Corcel A



Fuente: PETROMINERALES. (2012). ICA campo de producción Corcel, Facilidades Corcel A (anexo 1)

2.1.7 Departamento de Nariño

Para el departamento de Nariño solo se tiene un campo el cual es Sucumbíos; en el análisis de la información se encontró que Sucumbíos tiene una batería la cual está inscrita en la Superintendencia de Operaciones de Putumayo, por consiguiente se menciona en el capítulo 2.1.1.1 del Campo Orito.

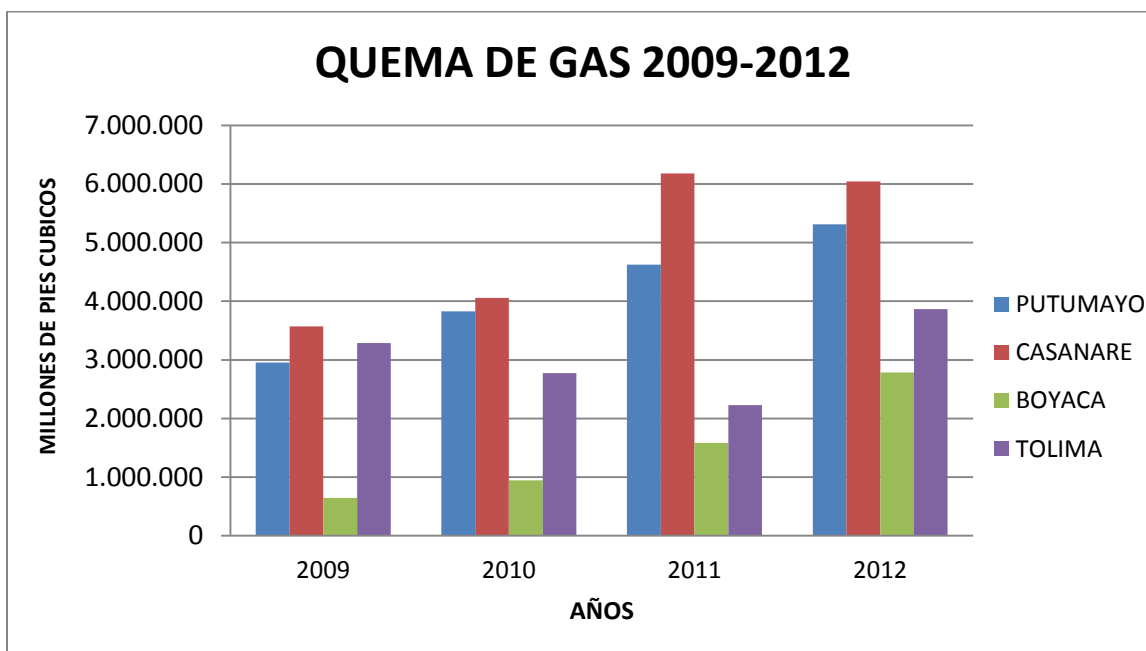
2.2 Antecedentes de quema de gas

Para el desarrollo de los antecedentes de quema de gas se parte principalmente de la información obtenida a partir del balance anual de producción de gas por departamento para los últimos cuatro años proporcionado por el Ministerio de Minas y Energía. Este balance permitió el seguimiento de los departamentos que desarrollaron quema de gas en los últimos cuatro años.

2.2.1 Quema de gas periodo de 2009-2012

Durante los últimos cuatro años se puede observar que el departamento de Casanare registró los volúmenes de gas quemado más altos, siendo el año 2011 en el que se presenta la mayor cantidad de gas quemado a nivel nacional con volumen de 6.181.386 millones de pies cúbicos.

Grafica 8 Quema de Gas periodo 2009-2012



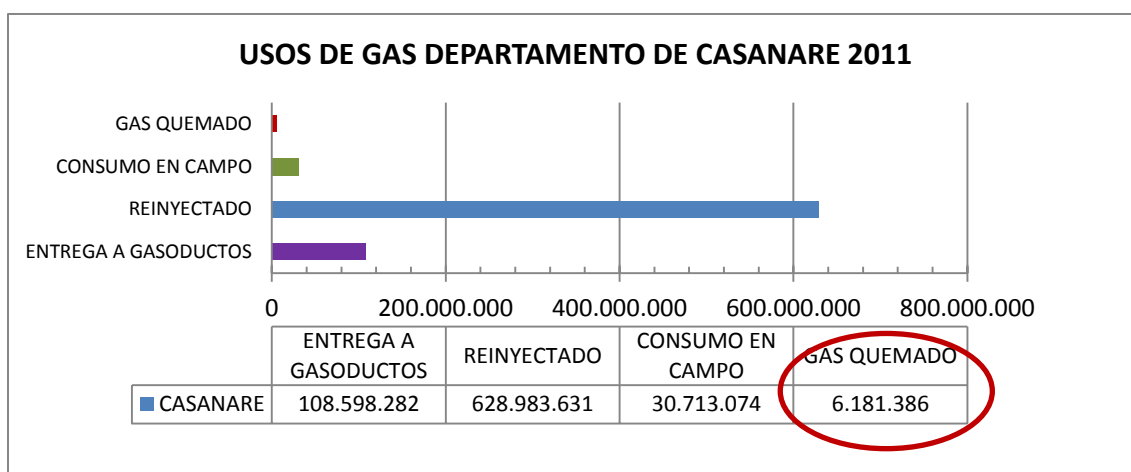
Fuente: Autores

Un aspecto de gran importancia en las actividades de quema de gas desarrolladas por el departamento de Casanare fue el aumento que se presentó en los volúmenes de gas quemado del año 2010 al año 2011, con una cantidad de 2.122.739 millones de pies cúbicos. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se pueden observar características que aportaron al aumento del volumen de gas que se quemó durante estos dos años; una de estas se basa en los usos que se le dieron al gas durante ese periodo, ya que según lo encontrado en el reporte del balance anual de producción de gas a parte de la quema de gas se desarrollaron otras actividades en las que se

destacan la reinyección para el caso de Casanare, el consumo en campo y la entrega a gasoductos.

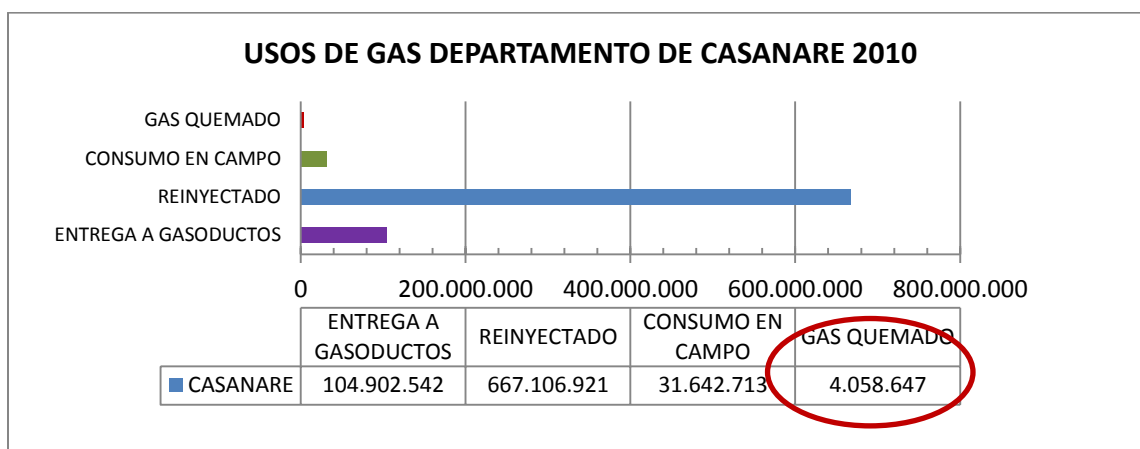
Analizando la relación de estos usos con el aumento de gas quemado, lo único que se puede observar es que para ese periodo se registró una disminución del 5,7% en el volumen de gas que se reinyecto, por la cual influyo en el aumento del volumen de gas que se quemó.

Grafica 9 Usos del Gas Casanare 2011



Fuente: Autores

Grafica 10 Usos del Gas Casanare 2010



Fuente: Autores



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS

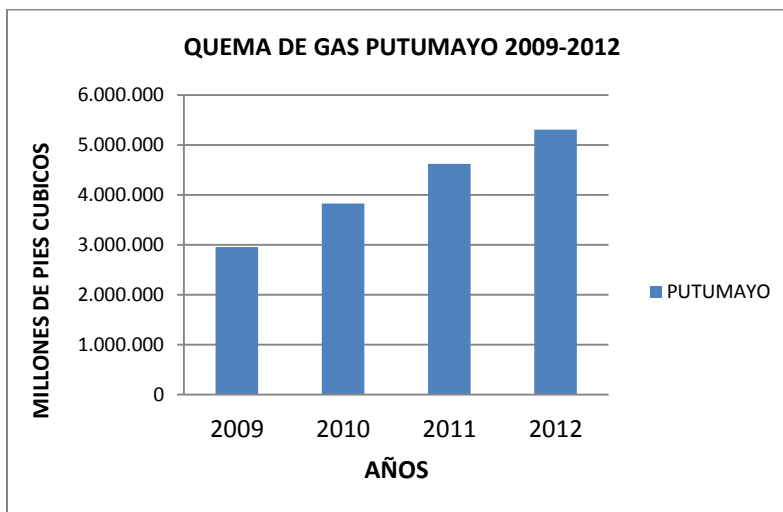


Los otros usos desarrollados para el gas remanente en el departamento de Casanare no registraron cambios considerables, por lo tanto la reinyección fue el uso más importante que influencio al aumento del volumen de gas quemado. Por otra parte otro aspecto que también influyo en este aumento fue las nuevas actividades de exploración y explotación que se desarrollaron del 2010 al año 2011, que a su vez estuvo acompañado de nuevos campos que realizaron quema de gas aumentando así el volumen anual de gas quemado. Teniendo en cuenta los aspectos anteriores importancia para los procesos de seguimiento a sus actividades, por sus altos volúmenes de gas quemado, y de la posibilidad de potencializar más las actividades de reinyección, consumo en campo y entrega a gasoductos, permitiendo así una disminución de la quema de gas remanente, en las actividades de producción de cada uno de los campos de este departamento.

El departamento de Putumayo ocupa el segundo lugar después de Casanare. Durante los últimos cuatro años se ha observado un aumento gradual en los volúmenes de gas quemado, el aspecto más importante de este departamento y sobre todo para el seguimiento que se debe realizar por parte de la autoridad ambiental, es que de la totalidad de gas que produce Putumayo todo es quemado en TEAS, y no desarrolla ninguna actividad de consumo o reinyección.



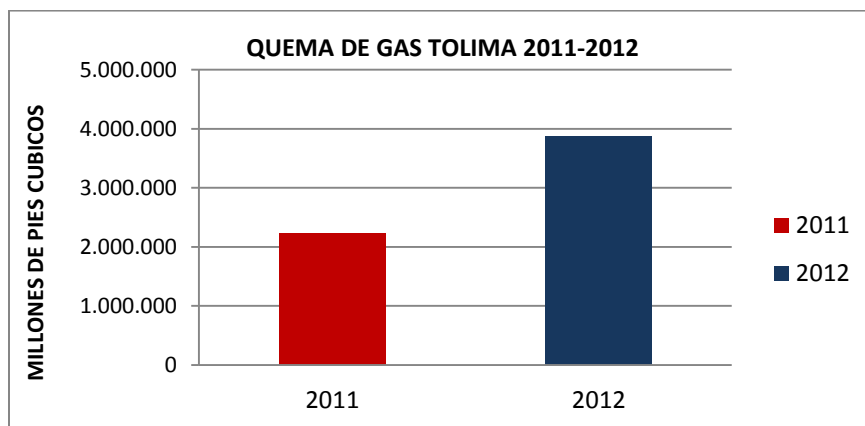
Grafica 11 Quema de gas Putumayo 2009-2012



Fuente: Autores

Por otra parte el departamento de Tolima ha presentado una disminución gradual en el periodo comprendido en los años 2009-2011, para este último año se observó un aumento al 2012 del 2,36% en el volumen de gas quemado como lo muestra la siguiente gráfica:

Grafica 12 Quema de Gas Tolima



Fuente: Autores

Por último el departamento de Boyacá presento durante los últimos cuatro años el volumen más bajo respecto a los tres departamentos descritos anteriormente, sin embargo el aspecto primordial en Boyacá son las actividades desarrolladas en el



campo Corrales, perteneciente al bloque Buenavista, que desde sus inicios ha registrado el 85% del gas que se quema en todo el departamento. A continuación se muestran los campos que quemaron las cantidades de gas más altas durante el año de 2012.

Tabla 1 Campos que más quemaron gas año 2012

CAMPO	DEPARTAMENTO	VOLUMEN (KPC)
CASANARE	CPF Cusiana	972.789
PUTUMAYO	Orito	3.014.635
TOLIMA	Matachín	3.514.817
BOYACA	Corrales	1.737.842

Fuente: Autores

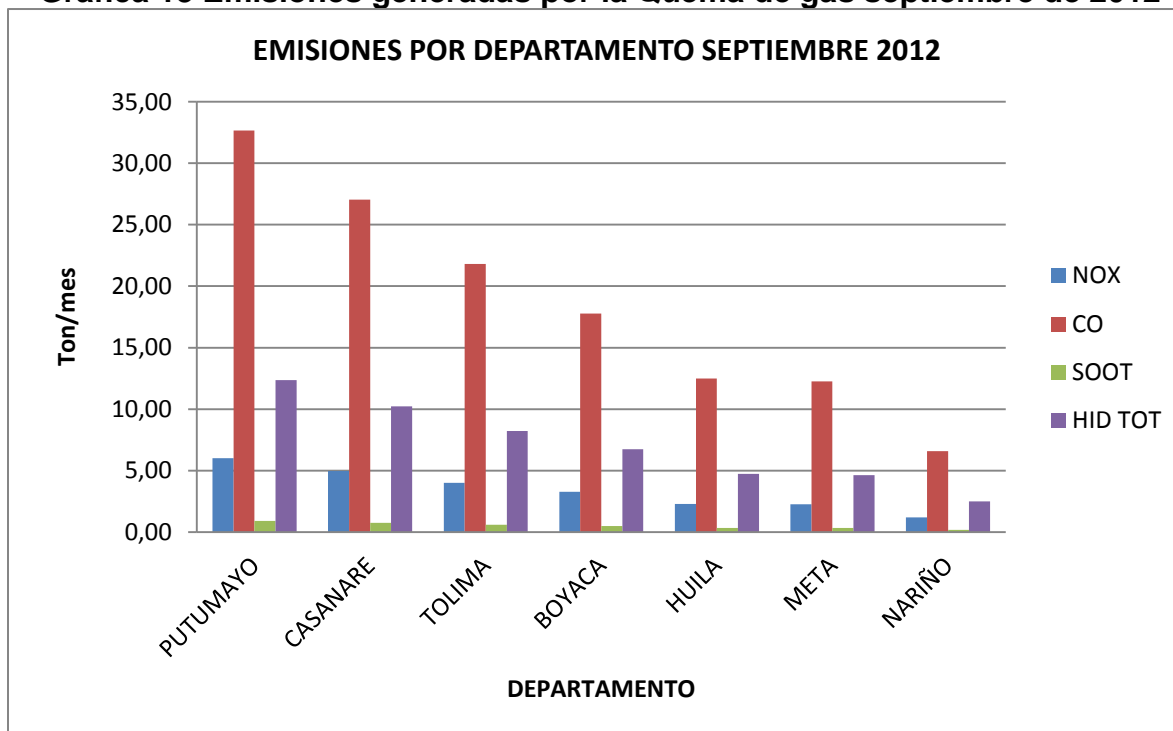
2.3 Análisis de las emisiones determinadas y fuentes de emisión (Teas) para los siete departamentos estudio.

Los departamentos con el mayor número de Teas encontradas fueron Casanare y Huila con un total de 18 y 15 fuentes respectivamente; en este aparte cabe señalar que la información obtenida de los ICA's y PMA's en algunos casos no era específica para cada campo y en otros casos no estaba completa, por esto se dice que este número de fuentes es aproximado, de igual forma no se encontró información para todos los campos, lo cual es otro factor que altera este número y que por lo tanto se cree que hay más teas en cada Departamento; a pesar de lo anterior se hallaron 75 teas en los siete Departamentos estudio, lo cual es un número significativo teniendo en cuenta los problemas anteriores y que el estudio fue demarcado únicamente para estos siete Departamentos en todo el territorio nacional.

Con respecto a las emisiones determinadas para cada campo mediante los factores de emisión de la EPA (AP-42), las cuales se calcularon teniendo en cuenta el último reporte correspondiente al mes de septiembre de 2012, se observa que los valores de emisión más altos corresponden a los campos que reportan mayores volúmenes de gas

quemado, por lo que este producto depende directamente del volumen de quema de gas, por lo tanto dichos campos que generan mayor emisión con cada contaminante son Orito perteneciente al departamento de Putumayo con una emisión de 15,56 Ton/mes de NOx, 84,67 Ton/mes de CO, 2,35 Ton/mes de hollín y 32,04 Ton/mes de hidrocarburos totales, en segundo lugar el departamento de Casanare con los CPF Cusiana y Cupiagua, y el campo morichal con una emisión de 12,88 Ton/mes de NOx, 70,07 Ton/mes de CO, 1,94 Ton/mes de hollín y 32,04 Ton/mes de hidrocarburos totales, como se puede observar en la siguiente gráfica:

Grafica 13 Emisiones generadas por la Quema de gas septiembre de 2012



Fuente: Autores

por otra parte el contaminante que más se destaca en cuanto a sus altos contenidos es el monóxido de carbono, como se observa en el anterior gráfico, esto se debe principalmente a que el CO es el producto de una combustión incompleta y por esta razón su factor de emisión es elevado frente a los demás factores de emisión.



De acuerdo con la ubicación geográfica de las fuentes de emisión (teas), se observa que solo unos pocos campos reportan esta información y por lo tanto no fue posible establecer dicha información de las teas en la salida grafica para todos los campos.

3. PARAMETROS BASICOS DE DISEÑO PARA OPERACIÓN EN TEAS

Teniendo en cuenta lo encontrado en el diagnóstico de la quema de gas en el territorio nacional, y los aspectos reportados por las empresas operadoras en los Informes de Cumplimiento Ambiental, y los Planes de Manejo Ambiental, de la operación de las TEAS en cada uno de los campos en los departamentos clasificados teniendo en cuenta el volumen de gas quemado, a continuación se presentaran los parámetros de diseño para la operación de las TEAS en el sector de hidrocarburos. Los parámetros básicos de diseño que se presentaran en la propuesta siguieren un compendio estructurado y depurado de fuentes del orden internacional como la EPA (Environmental Protection Agency), la API (American Petroleum Institute).

Las dos fuentes mencionadas anteriormente serán las más importantes, teniendo en cuenta su importancia para el diseño y operación de TEAS, y anexo a esto por su importancia y validez en el territorio nacional ya que dentro del estudio de los Informes de Cumplimiento Ambiental, y los Planes de Manejo Ambiental, se encontró que se toman los aspectos técnicos en la operación de TEAS de estas fuentes. El producto final se basa en detallar los aspectos técnicos que se deben tener en cuenta en la operación de TEAS en el sector de hidrocarburos.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente los parámetros básicos que se presentaran a continuación, buscan establecer parámetros que aseguren una actividad de quema buscando la combustión completa de todos los componentes remanentes que llegan al quemador, bajo condiciones óptimas de seguridad industrial y teniendo en cuenta la influencia de la TEA, a las comunidades aledañas al área de producción que se puedan ver afectadas con el proceso de quema.



3.1 Requerimientos Espaciales de las Teas

Para la instalación de los sistemas de quema de gas en el campo petrolero se presentaran ciertos requerimientos espaciales, que permitirán al operario tener buenas prácticas técnicas y prácticas de seguridad industrial. La importancia del ordenamiento espacial de la TEA radica en mantener las operaciones de quema con la mayor seguridad dentro del área de producción como también las distancias seguras frente a la población aledaña a este sector.

Tabla 2 Requerimientos Espaciales de las TEAS

FUENTE BIBLIOGRAFICA	REQUERIMIENTOS ESPACIALES DE LAS TEAS
DIRECTIVA 60 ERCB (ENERGY RESOURCE CONSERVATIO N BOARD) UPSTREAM PETROLEUM	<p>3.1.1 Condiciones de ubicación de la tea, (midiendo desde la base de la tea²⁷</p> <ul style="list-style-type: none">• 50 metros a distancia de los pozos. (sin incluir pozos de disposición de agua o pozos de inyección de agua).• 50 metros de distancia de los tanques de almacenamiento que contengan liquidas inflamables o vapores inflamables.• 25 metros de distancia de cualquier equipo de procesamiento de petróleo y gas. <p>3.1.2 Distancias de la tea con la propiedad pública</p> <ul style="list-style-type: none">• 100 metros de las mejoras superficiales en las vías. (para vías en estudio o en investigación la distancia debe ser de 40 metros, también para vías públicas y carreteras de libre acceso al público).• 100 metros de distancia de cualquier propiedad que se

²⁷ Energy Resource Conservation Board. (2011). *Upstream Petroleum Industry Flaring, Incierating, And Venting (directive 060)*. Recuperado de <http://www.ercb.ca/>.



INDUSTRY FLARING, INCINERATING AND VENTING	<p>encuentre habitada.</p> <p>3.1.3 Altura de la tea</p> <ul style="list-style-type: none">• La TEA debe estar diseñada de manera que la intensidad máxima de radiación térmica a nivel del suelo no excederá de 4,73 KW/m².• Las TEAS situadas a una distancia de 5 veces la altura de los edificios vecinos deberán tener una altura de al menos 2,5 veces la altura del edificio más alto.• Las TEAS que se instalen para la disposición de gas amargo o gas ácido que contengan más de 10 mol/Kmol H₂S deberán tener una altura mínima de 12 metros sobre el nivel del suelo. <p>Las TEAS deberán tener una altura suficiente para proporcionar una adecuada dispersión de la pluma para cumplir con la normatividad de emisiones de SO₂. (ERCB, 2011, pág. 55)</p>
---	---

Fuente: Autores

3.2 Valor calorífico del gas en la Tea

A continuación se establecerá el valor calorífico óptimo en unidades de MJ/m³, que debe tener el gas y que permitirá durante la operación de quema de gas en la TEA controlar los niveles de calentamiento, y operar bajo condiciones de seguridad dentro del campo de producción.



Tabla 3 Valor calorífico del gas que entra a la TEA

FUENTE BIBLIOGRAFICA	VALOR CALORIFICO DEL GAS QUE ENTRA A LA TEA
DIRECTIVA 60 ERCB (ENERGY RESOURCE CONSERVATIO N BOARD) UPSTREAM PETROLEUM INDUSTRY FLARING, INCINERATING AND VENTING	<p>El valor calorífico del gas que entre a la TEA durante las quemas rutinarias no de ser menor a los 20 MJ/m³ con las siguientes excepciones:²⁸</p> <ul style="list-style-type: none">• Cuando la TEA tenga un historial de funcionamiento óptimo con el menor número de fallas posibles durante la operación, el gas que entre a la TEA podrá tener un valor calorífico no menor a los 12 MJ/m³.• Cuando la TEA reporte fallos en su operación que conlleven a la generación de olores ofensivos, debe mantener un valor calorífico no menor a los 20 MJ/m³. <p><i>Sin embargo en el caso en que se presente una quema de emergencia de corta duración se podrá mantener valores caloríficos para el gas menores a los 20 MJ/m³. (ERCB, 2011, pág. 50)</i></p>

Fuente: Autores

3.3 Velocidad de Salida del Gas

La velocidad de salida del gas es un parámetro operacional de gran importancia en la TEA, debe ser controlado teniendo en cuenta un rango aceptable producto de diferentes pruebas y análisis. Cuando se tiene velocidades de salida del gas en la TEA demasiado altas, la llama puede levantar la punta y desplazar la llama hacia afuera de la TEA, mientras que si tienen velocidades de salida muy bajas, puede quemar los

²⁸ Energy Resource Conservation Board. (2011). *Upstream Petroleum Industry Flaring, Incierating, And Venting (directive 060)*. Recuperado de <http://www.ercb.ca/>.



sistemas superiores en la TEA. La siguiente tabla muestra los valores admisibles de velocidad de salida del gas en la TEA.

Tabla 4 Velocidad de Salida del Gas en la TEA

FUENTE BIBLIOGRAFICA	VELOCIDAD DE SALIDA DEL GAS EN LA TEA
EPA	<ul style="list-style-type: none">Las TEAS asistidas por vapor y no asistidos durante el proceso de operación se podrá manejar con una velocidad de salida menor a 18.3 m/s (60 ft/seg).²⁹La velocidad de salida real de la TEA se podrá determinar si se divide el caudal volumétrico del gas a ser quemado (en unidades de emisión a temperatura estándar y presión estándar), como se determina en el método 2 de la EPA. (EPA, 1991, pág. 3)Como se menciona en el numeral 3.1 el valor de velocidad de salida del gas no puede superar los 18.3 m/s, sin embargo se puede mantener una velocidad no menor a 122 m/s, si el valor calorífico neto del gas que se va a quemar es superior a los 37.3 MJ/scm (1000 BTU/scf).La velocidad máxima para las TEAS no asistidas se podrá determinar mediante la siguiente expresión: $V_{max} = (XH_2 - K_1) \times K_2$ Dónde: Vmax: velocidad máxima permitida en m/seg

²⁹ Environmental Agency Protection. (1991). *Standards of Performance for New Stationary Sources. (part 40)*. Recuperado de www.epa.gov.



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



<p>(ENVIRONMENTAL AGENCY PROTECTION)</p> <p>Apéndice D título 40 Código federal de regulaciones de protección para el ambiente</p>	<p>K₁: constante, 6.0 porcentaje de hidrogeno en volumen</p> <p>K₂: constante 3.9 (m/seg)/porcentaje de hidrogeno en volumen</p> <p>XH₂: porcentaje de hidrogeno en volumen, en una base húmeda, calculado mediante las pruebas de las sociedad americana para pruebas y materiales (METODO D1946-77) (PARTE 60.17)</p> <ul style="list-style-type: none"> La velocidad máxima para las TEAS asistidas por vapor y no asistidas, que cumplan con el valor de velocidad de salida mencionado en el numeral 3.1, podrá determinarse mediante la siguiente expresión: $\text{Log}_{10}(V_{max}) = \frac{H_T + 28.8}{31.7}$ <p>Dónde:</p> <p>V_{max}: velocidad máxima permitida, m/s</p> <p>28.8: constante</p> <p>31.7: constante</p> <p>H_T: Valor calorífico neto.(MJ/m³)</p> <ul style="list-style-type: none"> La velocidad de salida para las TEAS asistidas por aire que cumplan con el valor de velocidad de salida mencionado en el numeral 3,1 se podrá calcular mediante la siguiente ecuación: $V_{max} = 8.71 + 0.708(H_T)$ <p>Dónde:</p> <p>V_{max}: velocidad máxima permitida, m/s</p> <p>8.71: constante</p> <p>0.708: constante</p> <p>H_T: Valor calorífico neto (MJ/m³)</p>
--	--



Fuente: Autores

3.4 Emisiones Visibles

Las emisiones visibles es un parámetro básico en la operación de quema de gas en la TEA, una condición de operatividad en una TEA en que no se generen emisiones visibles como humo negro, producto de una combustión ineficiente, en la siguiente tabla se puede observar requerimientos para el seguimiento de emisiones visibles en la TEA.

Tabla 5 Emisiones Visibles en la TEA

FUENTE BIBLIOGRAFICA	EMISIONES VISIBLES EN LA TEA
EPA (ENVIRONMENTAL AGENCY PROTECTION) Apéndice D título 40 Código federal de regulaciones de protección para el ambiente	<ul style="list-style-type: none">• Durante un periodo de quema de dos horas no se deberán generar emisiones visibles durante un tiempo de más de cinco minutos. Anexo a esto las emisiones visibles que se generen durante la quema en la TEA no podrán superar el 30% de opacidad.³⁰• Si la sumatoria total de las emisiones de (CO, NO_x, COV y SO₂), que generaron la TEA en sus operaciones de quema durante un año es superior a las 100 Toneladas se debe requerir de una estimación de emisiones reales.

Fuente: Autores

3.5 Numero de Pilotos en la Tea y Condiciones de Funcionamiento

Todos los sistemas de quema deben emplear un sistema piloto de encendido continuo o equivalente. Los sistemas de encendido manual y automático pueden instalarse para

³⁰ Environmental Agency Protection. (1991). *Standards of Performance for New Stationary Sources. (part 40)*. Recuperado de www.epa.gov.



la TEA, una alarma debe señalar la pérdida de piloto, y un sistema de reencendido automático debe estar en los quemadores de proceso y las TEAS de emergencia si los hay. Si la TEA utiliza una corriente de desechos que puede ser interrumpida, por ejemplo, durante la carga de gasolina, el proceso debe ser apagado si hay una pérdida de la llama en el piloto. La siguiente tabla muestra el número de pilotos que se puede instalar en la TEA dependiendo de los tipos de diámetro disponibles para la TEA, así como las condiciones que se deben mantener durante su operación:

Tabla 6 Numero de pilotos en la TEA y Condiciones de Funcionamiento

FUENTE BIBLIOGRAFICA	NUMERO DE PILOTOS EN LA TEA Y CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO										
<p>EPA (ENVIRONMENT AL AGENCY PROTECTION)</p> <p>Apéndice D título 40 Código federal de regulaciones de protección para el ambiente</p>	<p>El número de pilotos que se puede instalar en la TEA se podrá determinar teniendo en cuenta los siguientes requerimientos:</p> <p>Requerimientos de pilotos en la tea³¹</p> <table><tr><th>TIPOS DE DIAMETRO (pulgadas)</th><th>NUMERO DE PILOTOS</th></tr><tr><td>2-12</td><td>1</td></tr><tr><td>14-22</td><td>2</td></tr><tr><td>24-60</td><td>3</td></tr><tr><td>60-84</td><td>4</td></tr></table> <p>Fuente: Title 40 Code Of Federal Regulations/Epa/Part 60/Subpart A: General Provisions</p>	TIPOS DE DIAMETRO (pulgadas)	NUMERO DE PILOTOS	2-12	1	14-22	2	24-60	3	60-84	4
TIPOS DE DIAMETRO (pulgadas)	NUMERO DE PILOTOS										
2-12	1										
14-22	2										
24-60	3										
60-84	4										
API 537 (Detalles de quemadores en la refinería y la industria	Existen diferentes tipos de diseños experimentales disponibles a partir de los cuales se debe seleccionar el sistema más apropiado para su aplicación, para el diseño y puesta en										

³¹ Texas Commission on Environmental Quality. (2000). *Air Permit Technical Guidance for Chemical Sources: Flares and Vapor Oxidizers*. Recuperado de www.tceq.texas.gov/.



petroquímica)	<p>marcha de los sistemas de pilotos en la TEA se deberá cumplirse:³²</p> <ul style="list-style-type: none">• Los pilotos deberán estar quemando continuamente.• La liberación mínima de calor por cada piloto deberá ser de 13.2 KW (45000 BTU/hr).• Los pilotos deberán permanecer encendidos incluso si los gases que se queman no son inflamables. <p>Los pilotos permanecerán encendidos y estar capacitados para ser encendidos de nuevo a velocidades del viento de hasta 160km/h en un lugar seco, y a velocidades de 140km/h cuando se combinan estas velocidades con al menos 50mm de lluvia por hora. (API 537, 2008)</p>
---------------	---

Fuente: Autores

3.6 Eficiencia de Remoción

La eficiencia de remoción es un factor de gran importancia para analizar si el sistema de quemado está asegurando la mayor oxidación de los componentes que entran, en este caso el gas remanente. A continuación se describirán las eficiencias que tienen que ser calculadas para determinar si la TEA está realizando una quema eficiente:

3.6.1 Eficiencia de Combustión CE³³

La eficiencia de combustión CE cuantifica la eficiencia que tiene un dispositivo para oxidar completamente un combustible. Los productos de combustión completa (CO₂, H₂O, y dióxido de azufre SO₂) resultado en toda la energía química en forma de calor. Los productos de combustión incompleta (CO, hidrocarburos no quemados, otros

³² American Petroleum Institute. (2008). *Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service*. (API 537).

³³ Energy Resource Conservation Board. (2011). *Upstream Petroleum Industry Flaring, Incierating, And Venting* (directive 060). Recuperado de <http://www.ercb.ca/>.



compuestos parcialmente oxidados de carbono, H₂S y otros compuestos parcialmente oxidados de azufre) reducen la cantidad de energía liberada. La CE se registra como el porcentaje del valor calorífico neto que se libera en forma de calor mediante la combustión.

3.6.2 Eficiencia de conversión de carbono (CCE)

La CCE cuantifica la eficiencia que tiene un dispositivo para la oxidación de hidrocarburos y es la conversión relativa de los compuestos de carbono en las sustancias reaccionantes a productos de combustión completa o incompleta. Los productos de combustión incompleta incluyen los hidrocarburos no quemados (hidrocarburos medidos como metano CH₄ y otros compuestos parcialmente oxidados de carbono, tales como monóxido de carbono CO en los gases de escape) la CCE se presenta como el porcentaje de carbono en el combustible que se convierte a CO₂ y se calcula a partir de: (ERCB, 2011, pág. 73)

$$CCE = \frac{\text{masa (mass rate) de carbono en el combustible convertida a CO}_2}{\text{masa de carbono en el combustible}}$$

Con esta definición, la masa molar y la eficiencia son las mismas. El ajuste se debe hacer si hay CO₂ en la corriente de entrada, ya que no reacciona. El ajuste depende de la fracción de CO_{2, COMBUSTIBLE} e hidrocarburos C_X H_{Y, COMBUSTIBLE} en la corriente de gas que entra en el dispositivo y el número de moles de carbono (X) por molécula de hidrocarburo. La CCE puede determinarse a partir del escape y la medición de concentración de combustible usando:

$$CCE = \frac{CO_{2, chimenea (STACK)} - \left(\frac{CO_{2, combustible}}{X C_x H_{Y, combustible}} \right) (CO_{chimenea (stack)} + HC_{chimenea stack})}{(CO_{2, chimenea (STACK)} + CO_{chimenea (stack)} + HC_{chimenea stack})}$$

Dónde:

CO₂ chimenea: Fracción de CO₂ en el ducto de la TEA (corriente de entrada).



CO₂ Combustible: Fracción de CO₂ en el combustible de entrada.

C_x: Fracción de carbono en el combustible.

H_y: Fracción de carbono en el combustible.

X: número de moles de carbono por molécula de hidrocarburo.

Esta ecuación se reduce a la siguiente expresión conocida si la entrada no contiene CO₂ (si la cantidad de CO₂ en la corriente de entrada=0):

$$CEE = \frac{CO_{2, chimenea (STACK)}}{(CO_{2, chimenea (STACK)} + CO_{chimenea (stack)} + HC_{chimenea stack})}$$

3.6.3 Eficiencia de conversión de azufre (SCE)

La SCE cuantifica la eficiencia que tiene un dispositivo para la oxidación de azufre y es la conversión relativa de compuestos de azufre en los reactivos a productos de la combustión completa e incompleta. Los productos de combustión incompleta incluyen H₂S no quemados, otros compuestos de azufre reducido (medidos como H₂S), tales como sulfuro de carbonilo y disulfuro de carbono (especialmente si está presente en el combustible), y otros compuestos de azufre parcialmente oxidados, tales como trióxido de azufre SO₃ en los gases de escape (medido como SO₃). La SCE se presenta como el porcentaje de azufre en el combustible que se convierte en SO₂ y se obtiene a partir de: (ERCB, 2011, pág. 75)

$$SCE = \frac{\text{masa (mass rate) de azufre en el combustible convertida a SO}_2}{\text{masa de azufre en el combustible}}$$

Con esta definición, la masa molar y la eficiencia son las mismas. La SCE se puede determinar a partir de la medición de concentración de gas en la chimenea utilizando:

$$SEE = \frac{SO_{2, chimenea (STACK)}}{(SO_{2, chimenea (STACK)} + SO_{3 chimenea (stack)} + H_2S_{chimenea (stack)})}$$



Dónde:

SO₂: Concentración de SO₂ en la chimenea.

SO₃: Concentración de SO₃ en la chimenea.

H₂S: Concentración de H₂S en la chimenea

4. CRITERIOS TECNICOS PARA VALORACION DE IMPACTOS

La presente propuesta identifica criterios técnicos que deben ser de gran importancia para valorar impactos que se generen durante la operación de quema de gas en TEAS en cualquier campo del territorio nacional. Los criterios técnicos aplicaran puntualmente a los aspectos básicos que se deben tener en cuenta para la determinación de *radiación térmica, iluminación y ruido*. Para el caso de los criterios técnicos a tener en cuenta para valoración de ruido solo se tomaran aspectos importantes para el componente ruido, que hay que tener en cuenta en la operación de la TEA, ya que dentro de los aspectos contenidos en la *Resolución 627 del 7 de abril de 2006 (Por la Cual se Establece la Norma Nacional de Ruido y Ruido Ambiental)* están los contenidos para la medición de ruido y límites permisibles. Los criterios serán de gran importancia para tener en cuenta y asegurar una operación segura del sistema de quema durante las operaciones de exploración, explotación y producción en los campos petroleros del territorio nacional.

4.1 Radiación

La radiación es un aspecto relacionado básicamente con las condiciones de seguridad industrial, durante las actividades de quema los niveles de radiación pueden desarrollar condiciones de emergencia en el campo de producción, los aspectos de radiación que se mencionaran a continuación radican principalmente en distancias aptas y características de seguridad. En los aspectos de distancia hay que resaltar que serán de gran importancia en el momento de desarrollar monitoreos de iluminación y ruido.



4.1.1 Impactos por Radiación

(Leza) Afirma que “la intensidad de la radiación térmica, recibida por un ser vivo o por un objeto situado en el campo de influencia” donde se desarrolla la quema de gas en la TEA, dependerá de:

- Las condiciones atmosféricas predominantes en el campo de exploración o explotación (humedad ambiental y viento).
- La altura o inclinación de la llama en la TEA.
- Las características fisicoquímicas del gas quemado, como temperatura, presión, punto de ebullición, calor de vaporización y combustión entre otros.

La siguiente tabla muestra los efectos ocasionados por la radiación generada por la TEA al personal que se encuentre cerca al área de influencia y las poblaciones aledañas al campo de producción.

Tabla 7 Efectos de la Radiación por Exposición a la Tea

EFFECTOS DE LA RADIACION CALORICA INCIDENTE	
KW/m²	DAÑOS A PERSONA
37,5	100% de mortalidad en 1 minuto
25	1% de mortalidad en 1 minuto. Lesiones significativas en 10 segundos
12,5	Zona de intervención: máximo soportable protegido con trajes especiales, por tiempo limitado (operarios), para personas aledañas al área de influencia sin trajes especiales, 1% de mortalidad en 1 minuto, quemaduras de 1er grado en 10 segundos.
8	Umbral de letalidad (1% de afectación) por un tiempo de exposición de 1 min.
4	Zona de alerta: suficiente para causar dolor si la exposición es mayor a 20 segundos, quemaduras de primer grado.
1,5	Máximo soportable por personas con vestimentas normales y un tiempo prolongado.

Fuente: Circular 06.06 Radiación Térmica: su efecto en incendios de líquidos y gases/LEA, Escriña y Asociados S.A./PERU



4.1.2 Parámetros de Radiación térmica

La radiación térmica es un parámetro de gran importancia en la operación de quema de gas en la TEA, según lo planteado en la normatividad internacional la radiación térmica es un aspecto que asegura las buenas prácticas en la salud ocupacional de los trabajadores. Los efectos ocasionados por la radiación en la TEA afectan en gran medida a los operadores, y la población que se encuentre cerca del área de influencia, por esto se debe asegurar una radiación térmica dentro de los límites sin generar alto riesgo al operador.

Los aspectos básicos operacionales de radiación térmica están expuestos en la propuesta de parámetros de diseño, en el presente capítulo se analizarán aspectos que deben mantenerse para asegurar un riesgo menor del operario en una quema rutinaria o de emergencia.

La radiación en la TEA depende de la fracción de radiación térmica en la llama y de otras características como³⁴:

- La composición del gas
- El tipo de flama
- La mezcla de aire-combustible
- La formación de partículas de hollín o humo
- La cantidad de combustible que está quemándose
- La temperatura de la llama
- El diseño del quemador en la TEA

4.1.3 Fracción de calor irradiado

“La fracción de calor irradiado expresa la producción total de energía radiante de una quema como una fracción de la potencia total de entrada del producto químico”

³⁴ NEON INFOTECH SOUTH EAST ASIS CO.,LTD. (2011). *Flare Radiation Analysis*. Recuperado de <http://www.neoninfotech.com>



(Department of Civil and Environmental Engineering/University of Alberta, 2000). Según plantea la AMERICAN PETROLIUM INSTITUTE el calor liberado en el proceso de quema del gas en una TEA transferido por radiación no es total.

Existen dentro de los cálculos para la fracción de calor irradiado un gran número de expresiones y modelos matemáticos, sin embargo teniendo en cuenta la validez de la información dentro de la presente propuesta se propondrá la expresión matemática validada por la AMERICAN PETROLIUM INSTITUTE, (API 521). Mencionada en el capítulo anterior de parámetros de diseño, sin embargo en este capítulo se expondrá otra modificación a la ecuación de la API propuesta por *Brzustowski and Sommer, 1973*.³⁵

$$D = \sqrt{\frac{\tau F Q}{4\pi K}}$$

Dónde:

D= Distancia mínima desde el punto medio de la flama al objeto considerado (TEA) en pies

T= Fracción de la intensidad del calor que se transmite

F= Fracción de calor radiado

Q= Liberación de calor neto (menor valor calorífico), en unidades térmicas británicas por hora (o KW).

K= Radiación permitida, en BTU/hr-ft³ (KW/m₂)

Realizando los cambios pertinentes de variables la fracción de calor radiado se calculara de la siguiente manera:

$$F = \frac{4\pi K D^2}{\tau Q}$$

³⁵ American Petroleum Institute. (2008). *Pressure-releving and Depressuring Systems*. (API 521).



Según la nueva expresión planteada para calcular el factor F en la ecuación original, la variable K se convierte en radiación real recibida al nivel del suelo en lugar de la radiación permitida. Hay características que no se tienen en cuenta en la expresión de la API. Según (Department of Civil and Environmental Engineering/University of Alberta, 2000) “la ecuación original ignora los efectos del viento y calcula las distancias suponiendo que el centro de radiación está en la base de la llama (en la boquilla de la TEA), no en el centro. También plantea que la ubicación donde la radiación térmica está limitada es en la base de la antorcha”.

Por otra parte se planteara la expresión de *Brzustowski and Sommer, 1973* quienes examinaron un modelo de intervalos donde se tenían diferentes longitudes de la llama y mediante valoraciones experimentales se desarrolló una expresión nueva, teniendo en cuenta que los modelos teóricos de longitudes estuvieron muy cerca de los valores reales. Este modelo presenta una alta precisión cerca de la llama sin embargo un aspecto negativo es que no tiene en cuenta la influencia de la orientación de la llama en la superficie. La fracción de calor radiado propuesta por *Brzustowski and Sommer, 1973* modificación de la expresión de la API 521 se calculara de la siguiente manera³⁶:

$$K = \frac{FQ}{4\pi D^2} \cos \theta$$

Dónde:

D= Es la distancia mínima desde el punto medio de la llama al objeto. (Metros)

F= Es la fracción de calor irradiado

Q= Es la liberación neta de calor (el menor valor calorífico en KW)

K= Radiación permitida, (Kilovatios por metro cuadrado). KW/m²

Θ= Angulo entre la normal a la superficie y la línea de visión desde el centro de la llama

Remplazando para determinar la fracción de calor irradiado se tiene:

³⁶ American Petroleum Institute. (2008). *Pressure-releving and Depressuring Systems. (API 521)*.

$$F = \frac{4\pi K D^2}{Q \cos \theta}$$

Esta expresión se planteara para el cálculo matemático de la fracción de calor radiado en una TEA y se tendrán en cuenta los siguientes criterios técnicos para el parámetro de radiación térmica:

4.1.4 Cálculo de las variables de radiación térmica

En la siguiente grafica se observaran las variables a utilizar en el cálculo de fracción de calor radiado en la TEA.

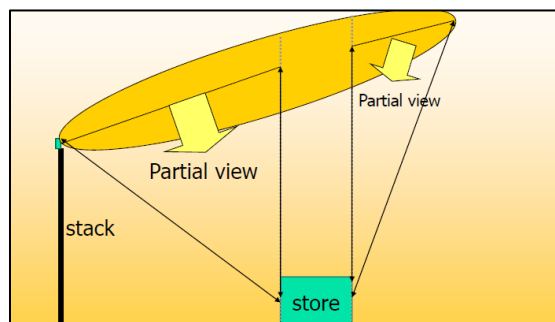
Imagen 20 Variables de cálculo



Fuente: Autores.

La línea de visión para la determinación de las alturas y la observación de la flama es de gran importancia para asegurar una precisión en la medición y la estimación del ángulo de la normal hacia la línea de visión desde la superficie observando al centro de la flama.

Figura 5 Línea de visión



Fuente: Public training for engineering software solution/flares

4.1.5 Límites de radiación recomendados

Los límites de radiación recomendados, tienen en cuenta la temperatura ambiente y debe tenerse en cuenta la duración de exposición frente a los aumentos y variables de temperatura en el momento de la quema.

Tabla 8 Límites de radiación recomendados

NIVEL DE RADIACION W/m ²	NIVEL DE RADIACION EN BTU/ft ²	TEMPERATURA AMBIENTE SUPERIOR	DURACION
1270	400	12	CUBIERTAS DE HELICOPTEROS SN ROTORES
1900	600	19	INCOMODO
3100	1000	31	LARGOS PERIODOS
4730	1500	46	VARIOS MINUTOS
6300	2000	61	SEGUNDOS
9460	3000	89	POCOS SEGUNDOS

Fuente: Public training for engineering software solution/flares



4.1.6 Umbral de dolor

Según las investigaciones para la determinación del efecto de la radiación térmica sobre la piel humana, se encontró que con una intensidad de 6.3 KW/m^2 (2000 BTU/h-m^2) el umbral de dolor se alcanza en 8 segundos y la piel se ve afectada en 20 segundos. La siguiente tabla muestra los tiempos de exposición necesarios para alcanzar el umbral de dolor en función de la intensidad de la radiación³⁷

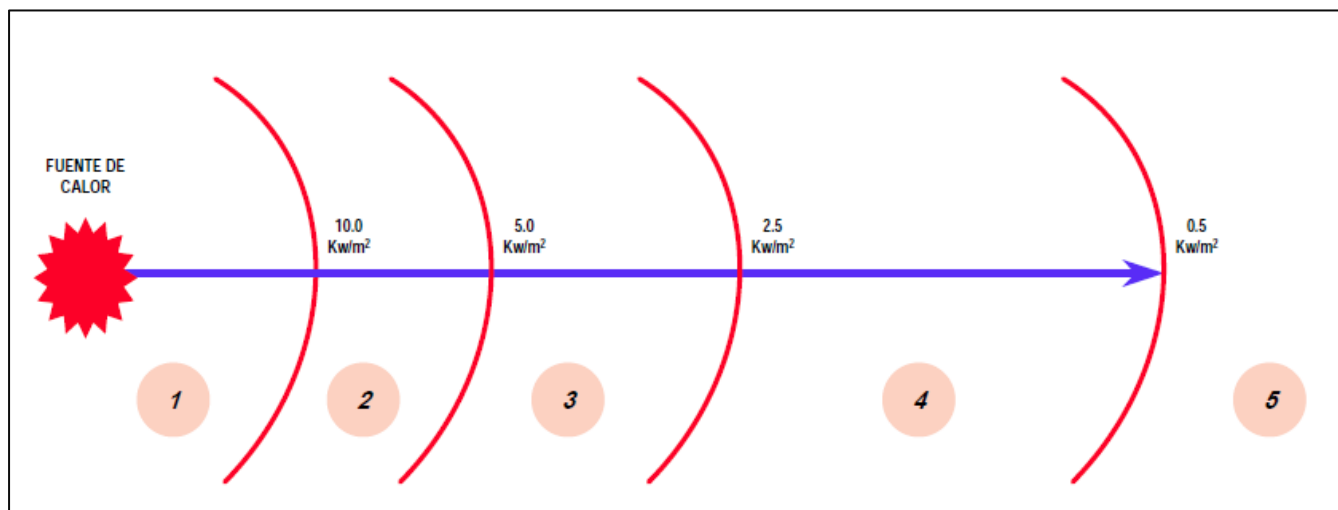
Tabla 9. Tiempo de exposición necesario para alcanzar el umbral de dolor

INTENSIDAD DE RADIACION KW/m^2 (BTU/hr-ft^2)	TIEMPO DE UMBRAL DE DOLOR (SEG)
1.74 (550)	60
2.33 (740)	40
2.90 (920)	30
4.73 (1500)	16
6.94 (2200)	9
9.46 (3000)	6
11.67 (3700)	4
19.87 (6300)	2

Fuente: API 537/pressure-reliving and despressuring systems/fifth edition, january 2007

³⁷ American Petroleum Institute. (2008). *Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service*. (API 537). Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co>

Figura 6 Zonas de riesgo para personas expuestas



Fuente: Guía para el desarrollo de campos petroleros (MADS)

Tabla 10. Distancias permisibles operador y publico

1	ZONA CALIENTE	ACCIONES CORTAS (PROTECCION TOTAL)
2	ZONA TIBIA	ACCIONES RESTRINGIDAS (PROTECCION TOTAL)
3	ZONA TIBIA	ACCIONES PERMANENTES (PROTECCION TOTAL)
4	ZONA FRIA	ACCIONES PROLONGADAS (SIN VESTIDO PROTECTOR)
5	ZONA LIBRE	PUBLICO

Fuente: Guía para el desarrollo de campos petroleros (MADS)

Según lo planteado en la *guía para el desarrollo de campos petroleros (MADS)* se tienen alternativas a seguir para desarrollar medidas de prevención frente a situaciones de carácter ocupacional.³⁸

³⁸ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1997). *Guía para del Desarrollo de Campos Petroleros*.



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



- Reducción de las quemas de gas a través de la minimización de los excedentes. Tiene relación con la aplicación de programas eficaces de mantenimiento preventivo y correctivo, así como con la disponibilidad de capacidad suficiente para manejar las fallas operacionales.
- Selección de la localización de las TEAS teniendo en cuenta los efectos potenciales de la generación de calor, considerando carga máxima del sistema o condiciones extremas.
- Prever zonas de aislamiento alrededor de las TEAS para evitar los efectos de la radiación. Estas serán establecidas en función de la energía radiante emitida y de los receptores sensibles presentes en la zona de exposición, teniendo en cuenta los niveles de riesgo admisibles a los operarios mencionados anteriormente.

Durante la operación de quema de gas en la TEA el personal operativo debe tener en cuenta los siguientes factores relacionados con los niveles de radiación:

- Ambiental: el viento y la temperatura ambiente puede influir en la cantidad de radiación que una persona puede soportar.
- Diseño: factores como la orientación del lugar de operación con respecto a la TEA y de protección podrán tener impacto en la exposición a la radiación del personal.
- Formación: Un operador debidamente formado con indumentaria adecuada y entrenamiento frente a situaciones de riesgo frente a situaciones como por ejemplo operar con el viento que sopla en una sola dirección, pero se produce un cambio drástico de la dirección del viento



4.1.7 Criterios de instrumentación y parámetros para determinación de radiación en la TEA (HEAT RADIATION FORM FLARES)

4.1.7.1 Nivel de radiación en superficie³⁹

“La radiación se podrá medir directamente por medio de medición indirecta mediante la medición de la temperatura con un sistema de termocupla. También se podrá determinar mediante la utilización de un Radiómetro” (Department of Civil and Environmental Engineering/University of Alberta, 2000), que dará una salida de milivoltios que son convertidos directamente a flujos de radiación. Cuando se desarrollen medidas en campo se podrá instalar un sistema de pared o una ventana protectora para minimizar los efectos del viento en el momento de la medición. Los sistemas radiómetros pueden medir flujos de radiación de hasta aproximadamente 4000 BTU/hr-ft².

4.1.7.2 Velocidad de salida del gas

La distribución de la velocidad es un factor importante a tener en cuenta para analizar los niveles de radiación y su variabilidad durante una quema rutinaria o de emergencia, para la determinación de este parámetro se podrán utilizar dispositivos de medición como tubo de pitot, velocímetros, medidores de turbina entre otros (Department of Civil and Environmental Engineering/University of Alberta, 2000). Para el dispositivo de pitot la sonda tiene un rango de velocidad de 8-200 pies/seg, con una incertidumbre mayor al 25%, el tiempo de respuesta de este sistema es de 0,1 segundos. Para los medidores de caudal de aire que utilizan sistemas de sensores, se tendrá en cuenta que la precisión de este tipo de medidor es desconocida a velocidades por debajo de 17 m/s.

³⁹ University of Alberta. (2000). *Heat Radiation from Flares*.



4.1.7.3 Tasa de flujo de combustible

“Los instrumentos ultrasónicos son el método más aplicable para la medición del caudal de gas quemado”. (Department of Civil and Environmental Engineering/University of Alberta, 2000) El medidor de flujo (Panametrics Model 7168 flow meter), es un serial de quipo ultrasónico que se comercializa específicamente para medir el caudal de gas a una TEA. También podrán utilizarse otros tipos de instrumentos para la medición de este parámetro como medidores de vórtice, medidores de Venturi entre otros.

4.1.7.4 Composición del gas

Según (Department of Civil and Environmental Engineering/University of Alberta, 2000) “El método estándar de laboratorio para determinar la composición del gas en la cromatografía de gases. Para el desarrollo en campo se han presentado cromatografos de gases compactos para el análisis de los gases quemados en la TEA que contienen hidrocarburos en la fase de vapor”.

4.1.7.5 Tamaño de la llama en la TEA

El tamaño de la llama es variable dentro de la TEA en el tiempo y el espacio. Para la determinación de las características espaciales existen metodologías fotográficas y de video ya que estas permitirán el registro de las estructuras de llama globales y locales. Las fotografías fijas permitirán el registro de características generales de las TEAS como la longitud y orientación de la llama en esta. Para el registro fotográfico se tiene que contar con un sistema de capturas continuas teniendo en cuenta la variabilidad de la llama un sistema de velocidad recomendado según (Department of Civil and Environmental Engineering/University of Alberta, 2000) será de 500 a 1000 fotogramas por segundo.



4.1.7.6 Condiciones Ambientales: Viento, Temperatura y Humedad

La velocidad y dirección del viento se puede medir a una altura elevada utilizando un anemómetro o veleta. La temperatura ambiente del aire y la humedad relativa podrán ser medidas en las estaciones meteorológicas ubicadas cerca al área de quema o los registros que se tengan de la zona.

4.2 Ruido

Las TEAS presentan altos niveles de ruido, de acuerdo al sistema, cantidad y el nivel de producción en la quema de gas. El sistema mecánico está directamente influenciado para los niveles de ruido en el campo petrolero. En términos de salud ocupacional y los efectos a la población aledaña al área de influencia las TEAS deben estar lo más lejos posible de los edificios, (Environmental Agency UK, 2002) establece que “cuando esto no sea posible, se podrán instalar sistemas para la atenuación del sonido o medidas que permitan lograr esto. Las edificaciones de ladrillo son recomendables para estos procesos, y los sistemas de deflectores también se podrán instalar en los sistemas de ventilación”.

4.2.1 Efectos en la salud humana

Los efectos provocados por los altos niveles de ruido generado por la quema del gas en la TEA principalmente en los operarios que se encuentran dentro del área de emisión, y las poblaciones aledañas al área de influencia *“son variados y dependerán de la intensidad de ruido que se genere en la TEA, la frecuencia y la duración. Para los efectos se tiene en cuenta la sensibilidad de la persona afectada y el entorno en el que percibe el ruido”* (US army institute of public health, 2011)

Según (US army institute of public health, 2011) “Un nivel excesivo de ruido en la zona de quema y en las edificaciones aldeanas, podrá afectar potencialmente la condición humana de muchas maneras. Los sonidos agudos y/o de alta intensidad puede ser de carácter estresante”. Cuando se tienen periodos en que la TEA probablemente está



recibiendo altos volúmenes de gas, y se está quemando grandes cantidades del mismo se puede presentar ruido de alta intensidad y dependiendo de la duración de este puede generar daños frecuentes *tanto la pérdida de audición temporal o permanente*, para el caso de instantes donde se genera un ruido de alta intensidad de corta duración puede presentarse pérdida de audición temporal, entre otras molestias temporales. Por otra parte una exposición a un ruido intenso excesivo a largo plazo que en el caso de la TEA puede presentarse en la mayoría de los casos, debido a los largos periodos de quema incluso en los periodos nocturnos puede generar *efectos directos e indirectos tales como* ⁴⁰

- La pérdida permanente de la audición
- Zumbido permanente o zumbido en los oídos
- El estrés y la tensión como patología de enfermedad
- Aumento de la presión arterial, hipertensión.
- Perturbación, privación del sueño (este aspecto puede ser de gran importancia teniendo en cuenta lo mencionado anterior de los periodos de quema que se presentan en horas nocturnas y que pueden afectar poblaciones que estén demasiado cerca al área de influencia).
- Dificultades de comunicación
- Dificultades de aprendizaje

4.2.2 Efectos en la fauna presente en el área de quema

En concordancia con los efectos mencionados anteriormente para los humanos, la intensidad de ruido generada por la TEA en el proceso de quema de gas, afecta también a la fauna presente en el entorno donde se están llevando a cabo las actividades de exploración o explotación. Por una parte se ve afectada potencialmente la fauna nativa dentro del entorno, y en otros casos que es sujeto de numerosas quejas por parte de la población hacia las empresas productoras y las autoridades

⁴⁰ U.S. ARMY PUBLIC HEALTH COMAND. (2011). *Noise Report*. Recuperado de www.garrison.hawaii.army



ambientales, es el daño generado a los animales propiedad de esta población, que al encontrarse cerca al foco de emisión de ruido se ven potencialmente afectadas, y en el caso de que alguna de esos animales sea fuente de producción económica afectara la cadena de producción y destino económico que la población dueña de este animal necesita. El efecto del ruido sobre la fauna silvestre es muy variado al igual que con los humanos y depende también de la intensidad del ruido, su frecuencia y su duración.

Cada especie tiene una determinada sensibilidad y presenta una afectación diferente también se desarrolla en un entorno diferente y su percepción del ruido es variada. Una exposición inusual, de alta intensidad o intermitente, generalmente asusta a la mayoría de las especies aumentando su ritmo cardíaco y obligar a que esta abandone la zona durante distintos periodos de tiempo. Por otra parte los altos niveles de ruido que puede generar la TEA aumenta el estrés de las especies nativas, y en algunos casos en que la especie se encuentra en periodos biológicos importantes como el periodo de anidamiento o parto, causara efectos adversos para la fauna silvestre cambiara sus funciones biológicas dentro de estos periodos. Por ejemplo si las aves que anidan abandonan el nido, incluso dentro de un periodo de corta duración, el éxito de anidación se verá reducido, y el intento de anidación por parte de la especie fallara. Cuando se presentan situaciones de ruido excesivo también puede resultar en la perdida de la vida silvestre ya que la capacidad de detección del ruido por parte de esta se puede perder.⁴¹

4.2.3 Medición de Ruido en la TEA

Los criterios operativos que se deben tener en cuenta en el momento de realizar la medición de ruido a fuentes fijas, en el presente caso la emisión de ruido generada por la TEA en el campo petrolero, están contenidos en la Resolución 627 del 7 de Abril de 2006, por esta razón se presentaran aspectos básicos relacionados con las características operativas de la medición de ruido, tomados de la Resolución que deben

⁴¹ U.S. ARMY PUBLIC HEALTH COMAND. (2011). *Noise Report*. Recuperado de www.garrison.hawaii.army



tenerse en cuenta para la medición en la TEA, un aspecto importante que hay que mencionar es que la presente resolución no puntualiza las mediciones en TEA, sin embargo los aspectos que se tomaran a continuación aplicaran para la medición en TEAS. Es de gran importancia mencionar que los criterios para la determinación de ruido están enfocados al impacto generado al ser humano. Teniendo en cuenta lo anterior se tendrán en cuenta los siguientes aspectos para la determinación del nivel de ruido en la TEA:

- “Para el gas de compensación que pueda requerir la TEA para asegurar una mayor eficiencia en la combustión, en los casos en los que se tenga este sistema, este deberá ser encapsulado en una caja insonorizada como medida para la reducción del ruido”. (Environmental Agency UK, 2002).
- “Los niveles de ruido en el orden de 45dB (A) a 10 metros de distancia de una TEA pueden ser permitidos” (Environmental Agency UK, 2002). (como medida obligatoria las distancias de medición se tendrán en cuenta siguiendo los requerimientos de distancias permitidos para protección por radiación térmica)
- Una reducción de ruido de 3dB (A) se puede permitir si la distancia de la fuente se duplica, por ejemplo si el nivel de ruido a 1,3 metros sobre el nivel del suelo a una distancia de 20 metros de una TEA cerrada se medirá el nivel de ruido a 70dB (A) y 67 dB (A) a 40 metros de la TEA.

4.2.4 Condiciones de monitoreo

- Se deben asegurar criterios técnicos que permitan una valoración de ruido precisa en el área de influencia cercana a la TEA o en cualquier punto del campo de producción. Uno de los factores a tener en cuenta dentro de la medición de este parámetro es el gradiente de velocidad del viento, los niveles sonoros medidos se pueden ver afectados cuando se encuentran grandes fluctuaciones en la velocidad



del viento, cuando se tienen velocidades del viento de hasta 20 km/h se puede determinar una medición aceptable.

- Los límites permisibles para la emisión de ruido en el caso de una TEA, aplicara dentro de la “clasificación de sector C. Ruido Intermedio Restringido, en el subsector C que corresponderá a zonas con usos permitidos industriales, industrias en genera” (MADS, 2006)/. El estándar máximo permisible de ruido será de *75 dB en el día y de 75 dB en la noche*.
- “Las condiciones meteorológicas en el momento de la medición de ruido en la TEA debe efectuarse en condiciones secas no debe existir presencia de precipitación, granizo, y la superficie donde se está realizando la medición debe encontrarse completamente seca” (Universidad de Medellin, 2011).
- Otro factor de gran importancia que se tendrá en cuenta en la medición de ruido en la TEA, es la velocidad del viento. Este parámetro es casi universal en la quema del gas ya que permitirá mantener aspectos como la integridad de la llama, el nivel de radiación, entre otros. Anteriormente se mencionó para el aspecto de radiación que este parámetro se medirá con un anemómetro o veleta. “La velocidad del viento no debe superar los 3m/s En el caso de la medición de los niveles de ruido si este es superior a 3 m/s, se deberá hacer ajustes al sistema de medición teniendo en cuenta las curvas de respuesta suministradas por el correspondiente proveedor para las pantallas protectoras contra el viento, del caso contrario se desistirá este aspecto en la medición y se incluirá esta característica en el informe” (MADS, 2006).

4.2.5 Sitio de medición

- En el caso de la TEA y teniendo en cuenta el nivel de peligrosidad para los operarios deberá presentarse un área limitada alrededor del sistema de quema, se tendrá en cuenta la limitación, o el límite de área que sea asignada por la empresa productora, y en su defecto se medirá a 1.50m de distancia de la fuente generadora de ruido y a



1.20m del suelo.(como medida obligatoria las distancias de medición se tendrán en cuenta siguiendo los requerimientos de distancias permitidos para protección por radiación térmica)

- Deberá asegurarse el área de medición teniendo en cuenta el nivel de radiación térmica que genera la TEA, teniendo en cuenta aspectos de seguridad ocupacional y disposiciones de protección del equipo de medición y el operario.
- “El sitio de medición se seleccionara efectuando una evaluación previa por medio de un barrido rápido el nivel de ruido emitido, el cual se realizará a 1.50 metros del área determinada por la TEA o división parcelaria, de esta manera se determinara el sitio de mayor nivel de presión sonora, el cual se tomara como el sitio de medición”. (Universidad de Medellin, 2011).

4.3 Iluminación

La iluminación producida durante la quema de gas en los campos petroleros del territorio nacional es un impacto que afecta principalmente a las comunidades aledañas al área de influencia, las especies nativas dentro del sector, y los animales que son fuente de producción económica de las comunidades existentes en el área.

4.3.1 Impactos

Los impactos asociados a la iluminación producida por la TEA afecta a la salud humano generando una continua molestia, afectando sus hábitos normales y generando impactos a nivel de cambios en la escala temporal que tienen los seres humanos para el desarrollo de sus actividades. Por otra parte la iluminación puede desorientar a los organismos acostumbrados a desarrollar sus funciones biológicas en la oscuridad, uno ejemplo de este caso es la desorientación de animales que necesitan de cierta orientación para ir de un lado al otro ya que las fuentes oscuras son un punto de referencia para estas especies. La iluminación afecta la puesta de huevos de las



especies los cambios en el nivel de luz puede alterar la orientación nocturna y la rápida función biológica para el desarrollo de estas actividades. Por ejemplo especies como las ranas necesitan ciertos periodos de aumento y disminución de la iluminación, esta exposición prolongada a los altos niveles de iluminación causa una reducción de la capacidad visual de estas especies prolongando su recuperación a periodos de horas.

Otras especies como las aves pueden presentar desorientación por la exposición a estos niveles de iluminación y se pueden ver atrapados por estas grandes fuentes lumínicas, una vez que el ave se encuentra dentro de esta zona iluminada estará atrapada, y no va dejar el área iluminada, por ejemplo las aves migratorias se ven afectadas cuando las condiciones meteorológicas las obligan a acercarse a estas fuentes aumentando los niveles de mortandad de aves en la zona donde se desarrolla la quema.

Los comportamientos reproductivos de las especies aledañas al área de influencia pueden verse afectados por la exposición a estos niveles de iluminación, afectando los ciclos biológicos y el entorno natural en que la mayoría de las especies necesitan reproducirse. También afecta la comunicación visual de las especies ya que la influencia de la iluminación es un aspecto importante para algunas especies que utilizan la luz para comunicarse, por lo tanto son susceptibles a estos altos niveles de iluminación, la presencia prolongada de iluminación altera y reduce la visibilidad de las especies que necesitan comunicarse y se vuelve compleja para estas la comunicación visual.⁴²

4.3.2 Variables fotométricas para las TEAS

4.3.2.1 Iluminancia

Según (Ministerio de Minas y Energía, 2009) “La iluminancia que es *la densidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie* es la variable fotométrica patrón de medición para la iluminación que genera la TEA. Como la unidad de medición de esta variable es

⁴² Travis Longcore and Catherine Rich. *Ecological light pollution*. Recuperado de www.urbanwildlands.org



el lux se medirá con un luxómetro, este sistema de medición tiene 3 características que deben ser examinadas en el proceso de medición las cuales son”:

- Sensibilidad: es el rango de luminancia que cubre el equipo, este parámetro depende si el equipo se utilizara para medir luz natural, iluminación interior, o en el caso de la iluminancia producida por la TEA una medición exterior nocturna. Para una adecuada medición de iluminancia se requiere que el luxómetro tenga el certificado de calibración vigente y las especificaciones técnicas apropiadas.
- Corrección de color: este parámetro se refiere a que el instrumento tiene un filtro de corrección, ya que esto permite que el luxómetro tenga una sensibilidad espectral igual a la del observador.
- La corrección coseno: este parámetro corresponde a la respuesta del medidor de iluminancia frente a la luz que incide sobre él desde direcciones diferentes a la normal siguiendo la ley del coseno.

4.3.2.2 Luminancia

La luminancia es una variable que relaciona la intensidad luminosa producida en este caso por la TEA, en una dirección dada y el área de proyección ortogonal de la superficie a la cual esta fija la TEA. Esta variable se mide sobre un área determinada en Candelas/m². La luminancia se media con un luminancímetro, *este aparato posee un sistema óptico que enfoca la imagen sobre un detector, mirando a través del sistema óptico el operador puede identificar el área sobre la que está midiendo la luminancia, y usualmente muestra la luminancia promedio sobre esta área.* El equipo de medición de luminancia requerirá las siguientes características técnicas: (Ministerio de Minas y Energía, 2009)

- Sensibilidad y calidad del sistema óptico apropiada.
- Sistema óptico con lentes de 85mm



- Receptor de fotocelda de silicio
- Unidad de medida en cd/m^2 , exactitud de: 0,01 a 9,99 cd/m^2
- Pantalla externa de 4 dígitos LCD con indicaciones adicionales, visor: 4 dígitos LCD con retroalimentación LED
- Certificado de calibración vigente

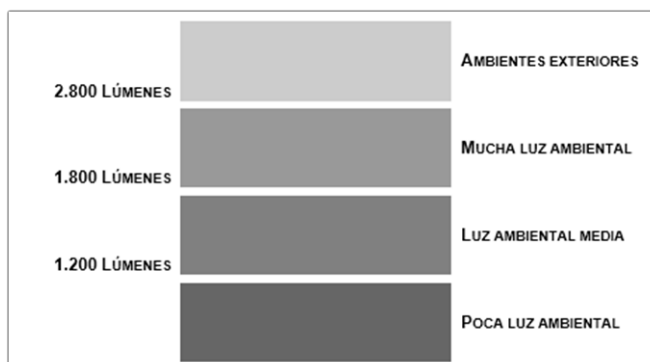
Los equipos de medición mencionados anteriormente, deben tener los procesos de calibración vigentes, y una unidad de verificación o contar con un laboratorio de prueba con la acreditación correspondiente incluso reconocida por la autoridad competente.

Según el Ministerio de Minas y Energía la unidad de verificación o laboratorios de prueba de los sistemas de medición *deben entregar el certificado de calibración o verificación contra un equipo patrón de acuerdo con la lista de chequeo exigida por la autoridad de metrología competente. La vigencia de los dictámenes emitidos por las unidades de verificación y los reportes de los laboratorios de prueba será las determinadas por la autoridad competente.*

4.3.2.3 Flujo luminoso

Según (Ministerio de Minas y Energía, 2009) “El flujo luminoso es *la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo*. La siguiente tabla muestra una comparación del nivel de lujo luminoso dependiendo del ambiente donde se esté generando”.

Figura 7 Comparación de flujos luminosos



Fuente: Modificación de la licencia 1583 del 11 de septiembre de 2008 para la ampliación del EPF Floreña/Equisam Ltda/2010

4.3.2.4 Intensidad luminosa

La intensidad luminosa es otra variable a tener en cuenta en la determinación de la iluminación generada por la TEA. La intensidad luminosa “es la cantidad de flujo luminoso sobre una pequeña superficie centrada y normal en cierta dirección” (Ministerio de Minas y Energía, 2009) . La unidad de medición de la intensidad luminosa es la candela (cd). Pero también se puede expresar mediante la relación con el flujo luminoso de la siguiente manera:

$$Candela = \frac{Lumen}{Estereoradian}$$

4.3.2.5 Densidad luminosa

La densidad luminosa es el nivel de iluminación que se puede generar en este caso por la TEA, la unidad de medición es el lux, esta unidad de medición se define como 1 $Lumen/m^2$ o mediante 1 $Candela \cdot sr/m^2$. Prácticamente la densidad luminosa es la misma iluminación fuente principal de medición para la TEA, o la misma iluminancia descrita anteriormente, también recibe el nombre de *radiancia (densidad luminosa emitida)*.



Teniendo en cuenta lo anterior la densidad luminosa es lo que se puede llamar la iluminación que genera una fuente, y por consiguiente *un sitio está bien o mal iluminado según sea su densidad luminosa*. Los valores típicos de densidad luminosa que son de gran ayuda para comparar y analizar la iluminación producida por la TEA son los siguientes:

Tabla 11 Valores típicos de densidad luminosa

FUENTE DE ILUMINACION	DENSIDAD LUMINOSA (Lux)
Máximo de luz solar	100000
Día nublado	10000
Luz de plenilunio	0,2
Luz de las estrellas	0,0003

Fuente: Modificación de la licencia 1583 del 11 de septiembre de 2008 para la ampliación del EPF
Floreña/Equisam Ltda/2010

4.3.3 Aplicación de modelación para determinación de la Iluminación

La determinación de iluminación generada por la TEA, como se indicó al inicio del presente capítulo, se puede determinar experimentalmente mediante el uso de un sistema de luxómetro, teniendo en cuenta las distancias óptimas de radiación térmica como parámetro de salud ocupacional, y la protección adecuada, sin embargo se podrán utilizar modelamiento de iluminación mediante expresiones matemáticas que permiten la determinación de variables fotométricas para el cálculo de la iluminación en cualquier punto que genera la TEA en el proceso de quema de gas.

Los modelos que se apliquen para el análisis de iluminación producida por la TEA en el proceso de quema, deberán cumplir y estar aprobados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), y por consiguiente aprobado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), sin embargo hay que destacar la IMPORTANCIA y la NECESIDAD de la medición en campo de la iluminación mediante la utilización de luxómetros, para obtener un soporte de datos tomados de forma experimental.



Para la determinación de la iluminación mediante la modelación se tendrán en cuenta el cálculo de ciertas variables, y para esto será necesaria la siguiente información:

- Tasa de quemado (Tq) $\text{pie}^3/\text{día}$
- Poder Calorífico (PCq) BTU/pie^3
- Calor generado (CG) $\text{BTU}/\text{día}$
- Eficiencia luminosa (E_L) $\text{lúmen}/\text{W}$ (la relación entre el flujo luminoso total emitido y la potencia del quemador) por lo general para el sistema de TEA y observando los cálculos de los estudios de iluminación se encontró que se establece una eficiencia luminosa de $0.1 \text{ lm}/\text{W}$.

Para los análisis de iluminación encontrados para cada TEA, se puede tomar como patrón los intervalos típicos de iluminancia para cada actividad en diferentes áreas de trabajo, la siguiente tabla muestra intervalos que se pueden tener de iluminancia, y puede ser tenido en cuenta en el momento de establecer valores que se pueden tener en las actividades desarrolladas en el campo petrolero.

Tabla 12 Intervalos típicos de iluminancia para diferentes áreas

INTERVALOS DE ILUMINANCIA (LUX)		TIPO DE AREA, TAREA O ACTIVIDAD
DE	HASTA	
20	50	Circulación en exteriores y áreas de trabajo
50	150	Áreas de circulación, orientación simple y visitas cortas temporales
100	200	Recintos cuyo uso no sea continuo para propósitos de trabajo
200	500	Tareas con requisitos visuales simples



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



300	750	Tareas con requisitos visuales medianos
500	1000	Tareas con requisitos visuales exigentes
750	1500	Tareas con requisitos visuales difíciles
1000	2000	Tareas con requisitos visuales especiales
>2000		Realización de tareas visuales muy exactas

Fuente: Modificación de la licencia 1583 del 11 de septiembre de 2008 para la ampliación del EPF Floreña/Equisam Ltda/2010

4.4 Criterios de seguridad en TEAS

Durante la operación de la quema rutinaria y de emergencia se debe tener en cuenta ciertos aspectos técnicos y de seguridad que se mencionaran a continuación, el personal y la empresa operadora debe tener en cuenta ciertos requerimientos para mantener condiciones de seguridad y de eficiencia en la quema.⁴³

La disponibilidad de la TEA depende de forma directa con el diseño del equipo mecánico, las prácticas de operación, la instalación, y el mantenimiento. Estas características son fundamentales para garantizar la seguridad en el campo de producción, por consiguiente la sala de operaciones los operadores y los sistemas de manejo deberán estar en un lugar que cumpla con las siguientes características:

- a.) Documentación clara de las limitaciones destinadas a la capacidad, rendimiento operativo, de la presión de alivio de vapor y los sistemas de despresurización de la TEA.

⁴³ American Petroleum Institute. (2008). *Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service. (API 537)*. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co>.



- b.) Establecer procedimientos de operación y capacitación al personal operador.
- c.) Proporcionar mantenimiento planeado y rutinario de los componentes críticos para la seguridad en el campo de producción.
- d.) Objetivos de alto nivel de seguridad y operación dentro una crisis resumidos de la siguiente manera:
 - Para proporcionar una eficiencia en la combustión de hidrocarburos alta, segura, confiable y eficiente.
 - Para garantizar que los hidrocarburos vertidos para quemarlos se realicen mediante una combustión estable durante el funcionamiento entero definido en el área de producción.
 - Para garantizar la continuidad de la llama en la TEA en condiciones meteorológicas adversas.
 - Para garantizar que las concentraciones al nivel del suelo de los compuestos indicados no superen los límites ambientales.
 - para garantizar que la velocidad a lo largo de la tubería de la TEA no exceda el máximo especificado.
 - Para asegurar que el límite de opacidad en el campo no supere el valor definido.
 - Para asegurar que la intensidad de la radiación de la TEA no exceda el máximo permitido.
 - Para garantizar que los niveles de ruido no excedan el máximo permitido.

Para garantizar que las concentraciones a nivel del suelo de los compuestos no superen los límites ambientales se tendrá en cuenta:

- Los caudales de diseño para los sistemas de alivio de presión y despresurización incluyendo los niveles máximos y su frecuencia en la operación.
- La velocidad de salida en la TEA si cumple con la velocidad máxima de salida permitida.



- La hidráulica del sistema con respecto a los niveles de caída de presión, la presión estática y el diámetro del quemador.
- Los requisitos de desempeño ambiental relacionado con la capacidad de la TEA para operar sin humo, los límites de opacidad y ruido permisibles.
- Desempeño operativo, como el grado de intensidad máximo.
- Descripción funcional del sistema previsto.
- Sitio y condiciones ambientales de diseño.
- Servicios públicos disponibles.

4.5 Criterios de rendimiento en TEAS

Las condiciones de rendimiento que serán expuestas a continuación, básicamente establecen condiciones para mantener el sistema configuración que se debe establecer en la TEA, mediante la consideración y aplicación de los procedimientos, prácticas y recomendaciones de los presentes parámetros. El sistema principal de la TEA es la antorcha, y está directamente relacionado con los aspectos de seguridad, descarga eficiente, y combustión de los gases remanentes.

La integridad de este sistema tiene un efecto directo en el funcionamiento y el mantenimiento del equipo que tiene que hacerse a los 5 años desde su instalación. Para las alternativas de diseño para la antorcha de la TEA se tendrán en cuenta los siguientes requisitos⁴⁴

a.) Para todos los tipos de TEAS:

- El sistema de TEA incorporara un dispositivo de retención de llama o métodos aerodinámicos con capacidad para proporcionar una combustión estable y la protección de las llamas de purga.

⁴⁴ American Petroleum Institute. (2008). *Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service*. (API 537). Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co>



- Si se aplican sistemas de aire o inyección de vapor, este se instalara teniendo en cuenta de no interrumpir los sistemas básicos de estabilización de la llama en la TEA.
- El quemador, en combinación con su sistema piloto, el sistema de encendido deberá tener facilidades para mantener una combustión estable de la llama principal para las condiciones de operación, incluyendo las condiciones ambientales a las que tiene que realizarse la quema.

b.) Para las TEAS con inyección de vapor interna para introducir aire:

- El vapor condensado deberá ser drenado desde el punto de inyección interna de vapor/aire.

5. PROCEDIMIENTOS DE MEDICION DE EMISIONES

Para establecer los procedimientos de medición de emisiones atmosféricas generados por la quema de gases del sector de hidrocarburos, se realizó la consulta de fuentes de información del orden internacional como la (ERCB, 2011), (CAPP, 2002), (CCEE,2011), (GGFR & World Bank, 2008), Alberta Canadá, (EPA, 1991); de la revisión bibliográfica se evidenció que actualmente se desarrollan las siguientes metodologías, las cuales son enunciadas según (CMC Solutions, 2013):

- Métodos visibles: determinación de emisiones visibles mediante los métodos 9 (Opacidad) y 22 (emisiones de humo de Teas) de la EPA.
- Métodos de muestreo directo: utilización de técnicas extractivas.
- Métodos por sensores remotos

Los denominados visibles, tienen inherente un error debido a que son subjetivos a la apreciación del humo en la pluma contaminante y depende del personaje que realice la medición; respecto a las mediciones utilizando técnicas extractivas y sensores remotos,



son tecnologías que aún no están disponibles a nivel nacional y que las condiciones de evaluación requieren de equipos y laboratorios especializados; por otro lado, los métodos de medición directa que son planteados en el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas (MADS, 2010), representa un riesgo de seguridad industrial debido a que estas fuentes tienen un nivel de radiación muy alta y por lo tanto, los operarios y cualquier persona que esté cerca del área de la Tea debe cumplir con las distancias establecidas en el capítulo anterior (capítulo 4).

A pesar de los criterios anteriores, metodologías como la medición directa y remota, podrán ser aplicadas según se avance en tecnologías de quema de gases y que estas sean avaladas por la autoridad ambiental.

En el protocolo mencionado con anterioridad, se señala la aplicación de Factores de emisión y Balance de masas para determinar las emisiones de una fuente fija, siendo estos métodos los más apropiados para aplicar en Teas bajo las condiciones actuales de infraestructura y desarrollo tecnológico de la industria de hidrocarburos. Para la aplicación de estos métodos se requiere como mínimo de la determinación de caudales de quema de gases mediante un sistema de medición instalado en la tubería, la caracterización previa del gas y el cálculo de la eficiencia de combustión.

A continuación se realiza una breve explicación de la aplicación de los dos métodos propuestos anteriormente para la estimación de emisiones en Teas, teniendo en cuenta la información contemplada en el protocolo anteriormente mencionado:

5.1 Balance de masas

Según (MADS, 2010), “el balance de masas hace referencia a la cuantificación de emisiones por balance de materia y energía. A través de la aplicación del método de balance de masas se representan las entradas y salidas de un sistema con el fin de estimar de manera indirecta la emisión de sustancias contaminantes a la atmósfera, es decir, las emisiones que se producen y pueden cuantificarse durante periodos de tiempo prolongados. El balance de masas es muy utilizado en situaciones donde se



presentan reacciones químicas, siendo apropiados en situaciones donde se pierde determinada cantidad de material por liberación a la atmósfera.”

Por otra parte, “los balances de masas son inapropiados cuando el material es químicamente combinado o consumido en el proceso, o cuando las pérdidas de materiales en la atmósfera representan una pequeña porción, con respecto a los materiales que ingresan al proceso. Por esta razón, los balances de masas no son aplicables para la determinación de material particulado producto de procesos de combustión” (MADS, 2010).

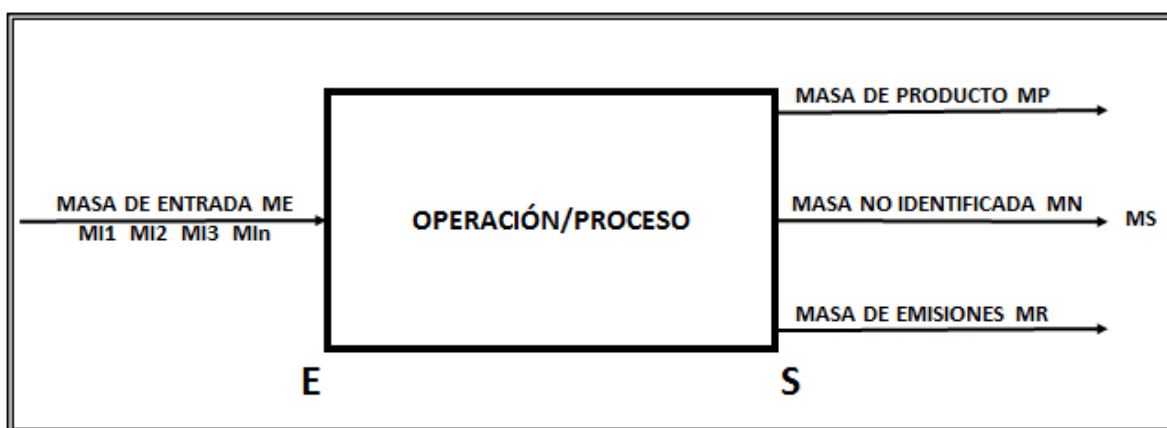
Para estimar las emisiones generadas por las teas mediante éste método, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Se debe hacer una descripción detallada tanto del proceso productivo como de las fuentes de emisión Teas, haciendo énfasis en las generalidades y características tanto de ubicación como de operación y mantenimiento. “Adicionalmente, se deben incluir variables del proceso como materias primas e insumos utilizados, las tasas máximas, normal y promedio de operación, la caracterización y tasa de alimentación del combustible que utiliza y las horas de operación diarias, semanales o mensuales” (MADS, 2010).
- Se deben identificar las entradas y salidas del proceso, cuantificándolas teniendo en cuenta que todos los insumos que entran al proceso, salen como productos o emisiones, para esto se debe establecer la composición química de los compuestos entrantes, planteamiento de las reacciones químicas teóricas y balanceo estequiométrico.⁴⁵

⁴⁵ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010). *Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas*

- Se debe realizar el balance de masas teniendo en cuenta que la suma de todas las masas que entran al proceso debe ser igual a la suma de masas de los productos.

Figura 8 Esquema de entradas y salidas de un sistema para la evaluación por balance de masas



Fuente: MADS. (2010). Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas,

Dónde:

$$ME = MI1 + MI2 + MI3 + MIn$$

$$MS = MP + MR + MN$$

$$ME = MS$$

M = Masa

E = Entrada

S = Salida

I = Insumo

MP = Producto

MR = Residuo / Emisiones

MN = No identificado

MS = Salida total del proceso

- También es necesario determinar las variables del proceso como la temperatura, la presión, el flujo volumétrico, velocidad de salida de los gases y recolectar



información relacionada con la duración de la campaña de recolección de datos (fecha de inicio y finalización).

- Se deben reportar todas las fuentes bibliográficas utilizadas para la elaboración del balance de masas y para el análisis del proceso (MADS, 2010).

5.2 Factores de emisión

Un factor de emisión es la relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmosfera y una unidad de actividad o del proceso, tales como el consumo de energía, el consumo de combustible, las unidades de producción, o las características de estos, entre otros. El uso de los factores de emisión es apropiado cuando los materiales que se emplean son consumidos o combinados químicamente en los procesos o cuando se producen bajas pérdidas de material por liberación a la atmósfera, en comparación con las cantidades que se tratan en el proceso. Los factores de emisión representan valores promedio de un rango de tasas de emisión, es decir, que en algunos casos las emisiones de la actividad variarán con respecto al resultado del factor de emisión, dependiendo de los valores que se utilizan para el análisis (MADS, 2010).

Para (MADS, 2010) “Los factores de emisión que se deben utilizar, son los establecidos en el documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors (US-EPA, 1995a) el cual contiene los factores de emisión definidos en Estados Unidos para una gran cantidad de actividades”. A continuación se presentan los factores de emisión establecidos para la operación de teas:

Tabla 13 Factores de Emisión para las Teas

Tabla 13.5-1 (Unidades Inglesas). FACTORES DE EMISION PARA LA OPERACIÓN EN TEAS ^a CALIFICACIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN: B	
COMPONENTE	FACTOR DE EMISION (lb/10 ⁶ BTU)
Hidrocarburos Totales ^b	0.14



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



Monóxido de Carbono	0.37
Óxidos de Nitrógeno	0.068
Partículas ^c	0 - 274
^a Referencia 1. Basado en pruebas usando propileno crudo contiene 80% de propileno y 20% de propano. ^b Medido como metano equivalente. ^c Partículas en valores de concentración: Teas sin humo, 0 microgramos por litro (µg/L); teas con ligero humo, 40 µg/L; teas con humo promedio, 177 µg/L; y teas con fuertes humaradas, 274 µg/L.	

Fuente: AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors (US-EPA)

Según AP-42, la calificación del factor de emisión **B** significa: por encima de la media. El factor de emisión se desarrolla principalmente a partir de los datos de prueba A o B, nominales de un número moderado de las instalaciones. Aunque hay un sesgo específico que es evidente, no está claro si las instalaciones analizadas representan una muestra aleatoria de la industria. Como con la clase A, la población categoría de fuente es suficientemente específica para minimizar la variabilidad.⁴⁶

Para realizar la estimación de Emisiones se plantea la siguiente ecuación:

$$E = A * FE$$

Dónde:

FE= Factor de Emisión

A= Unidad de actividad o de proceso, que para el caso de las Teas sería el consumo del combustible.

Para realizar la evaluación de emisiones a través de factores de emisión, se debe tener en cuenta la misma información establecida en la estimación mediante balance de masas, y adicionalmente la siguiente (MADS, 2010):

- Se debe realizar una descripción y justificación detallada del factor de emisión seleccionado y utilizado, la fuente y los estándares de emisión que le aplican a la actividad.
- Otras consideraciones a tener en cuenta:
 - Porcentaje de oxígeno utilizado para la combustión

⁴⁶ AP 42 Frequent Questions. (1991). *Environmental Agency Protection*. Recuperado de <http://www.epa.gov>



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



- Poder calorífico
- Tipo de alimentación del combustible
- Calidad del combustible
- Sistema de alimentación del combustible



6. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los aspectos desarrollados en el presente marco técnico se puede concluir:

- De acuerdo a lo estudiado en el diagnóstico de los usos o disposición del gas y los reportes del Ministerio de Minas y Energía se puede concluir que los usos que se le dan al gas remanente a parte de la quema en TEAS es el consumo en campo, la reinyección de gas, y la entrega a sistemas de gasoductos para la producción de gas domiciliario.
- De acuerdo a lo dispuesto en los reportes del Ministerio de Minas y Energía sobre producción de gas, se puede concluir que para el año 2012, del total de producción de gas en los todos los campos del territorio nacional el 2,52% es quemado en TEAS, el 0,06% es para la producción de gas lift, el 4,9% se destina para consumo en campo, el 0,33% se utiliza para utilización en campo, el 0,92% es para transformar a otros tipos de gases, el 38% es para entrega a gasoductos. La actividad de disposición que más se desarrollo fue la de reinyección con un total de volumen reinyectado correspondiente al 53% del total de gas producido.
- Se pudo establecer en el diagnóstico para la quema de gas en el territorio nacional durante el periodo 2009- 2012, que el departamento de Casanare fue la región en la que se quemó la mayor cantidad de gas, con un promedio anual de 4.963.071 millones de pies cúbicos, lo cual es atribuido a las actividades de explotación de 84 campos.
- En el desarrollo de los pozos petroleros en el departamento de Boyacá, se evidencio el mayor incremento de volumen de gas quemado en el país durante el periodo 2009-2012 hecho atribuido a las actividades del campo corrales donde durante los años 2011-2012 se incrementó sus volúmenes de quema en un 277%.



- Según lo estudiado y analizado en el diagnóstico de la quema de gas en TEAS en el territorio nacional se logró identificar que los campos petroleros de los departamentos del Casanare, Putumayo, Tolima y Boyacá fueron los que quemaron la mayor cantidad de gas por consiguiente estos deben ser el principal objeto de control y seguimiento por parte de las autoridades ambientales encabezadas por la ANLA.
- Con respecto a la estimación de emisiones para el mes de septiembre de 2012 se identificó que para los departamentos clasificados (Putumayo, Casanare, Tolima, Boyacá, Huila, Meta y Nariño), se emitieron un total de: 62 Ton/mes de NO_x, 9 Ton/mes de partículas, 128 Ton/mes de Hidrocarburos Totales y 339 Ton/mes de CO. Donde el departamento de Putumayo genero para este periodo las emisiones más altas con: 15.56 Ton/mes de NO_x, 2.35 Ton/mes de partículas, 32.04Ton/mes de Hidrocarburos Totales y 84.67 Ton/mes de CO.
- Los campos que generaron la mayor cantidad de emisiones atmosféricas son Orito (PUTUMAYO), Matachín (TOLIMA) y Corrales (BOYACÁ) en ese orden respectivamente, debido a que estos campos son los que reportan los mayores volúmenes de gas quemado, ya que la emisión es directamente proporcional al volumen quemado de gases.
- Dentro de los aportes ingenieriles del proyecto, Se diseñó una salida grafica mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica, que será un apoyo innovador para la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, para el seguimiento de las actividades de quema de gas en TEAS en los principales departamentos que la desarrollan, con el fin de proporcionar información de numero de TEAS por campo y departamento, volumen de gas quemado por campo y emisiones estimadas de NO_x, Hidrocarburos Totales, partículas suspendidas y CO.



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



- Mediante la revisión y análisis de la información técnica extractada de entidades como la EPA, API, ARPEL, ERCB, entre otras, se establecieron los parámetros básicos que permiten asegurar una quema de gas bajo las mejores condiciones de eficiencia, procurando una combustión completa durante la quema, condiciones óptimas de seguridad ocupacional y para las comunidades asentadas en los alrededores de estos tipos de fuentes que proporcionaran una base técnica para incluir la quema de gas en teas como una actividad objeto de control de emisiones conforme a lo dispuesto por en la resolución 909 de 2010.
- Se establecieron los criterios técnicos que deben ser seguidos por los encargados de la valoración de impactos ambientales causados por la quema de gas en teas, en lo referente a radiación, ruido, iluminación, seguridad y rendimiento en la operación de quema, los cuales serán adicionados a los conceptos ya establecidos en el protocolo de calidad del aire.
- Dadas las características especiales de las teas en torno a seguridad se proponen dos metodologías para la medición de emisiones, las cuales son factores de emisión y balance de masas, definidas en el protocolo para el control y vigilancia de las emisiones atmosféricas para fuentes fijas. sin embargo se debe tener en cuenta la posibilidad de desarrollar mediciones directas siempre y cuando se tenga la infraestructura necesaria para la determinación de emisiones y la técnica a emplearse sea -avalada por la autoridad ambiental.



7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que las autoridades ambientales sigan los criterios de parámetros básicos de diseño de TEAS, valoración de impactos y medición de emisiones atmosféricas establecidos en el presente marco, en cuanto a las actividades de quema de gas en TEAS para el territorio nacional.
- Es de gran importancia por parte de las empresas de exploración y explotación del sector de hidrocarburos realizar valoración de impactos a las actividades de quema de sus TEAS, y anexo a esto que las autoridades ambientales estudien y evalúen estas valoraciones, con el fin de prevenir efectos que puedan causar deterioro en el medio ambiente y afectar la calidad de vida de las comunidades asentadas en el área de influencia.
- Debido a la gran preocupación que existe por el alto volumen de gas quemado en los departamentos de Putumayo, Boyacá y Casanare, se recomienda que las autoridades ambientales realicen control y seguimiento a los campos de estos departamentos a fin de evaluar los efectos causados por estas quemas.
- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del estudio de la información sobre producción de gas, y los aspectos desarrollados en el diagnóstico de quema de gas en el territorio nacional, se debe desarrollar un seguimiento y control más exhaustivo a las actividades de exploración y explotación de los campos del departamento de Casanare ya que presento los volúmenes de quema más altos durante los últimos cuatro años, y por las quejas presentadas por las comunidades a la autoridad ambiental regional.



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



- Se debe realizar una evaluación y diagnóstico a las operaciones llevadas a cabo en el campo corrales del departamento de Boyacá perteneciente al bloque Buenavista, a cargo de la empresa UNION TEMPORAL OMEGA ENERGY, teniendo en cuenta que los volúmenes de gas quemado han aumentado gradualmente, y que durante el periodo de 2011-2012 se presentó un incremento del 277% sin establecerse el efecto ambiental causado por esta actividad.
- La ANLA debe solicitar que en los informes de cumplimiento ambiental y/o planes de manejo ambiental presentados por las empresas petroleras, se especifiquen claramente los siguientes aspectos: (Velocidad de Salida del gas en la TEA, informe técnico de la TEA que contemple alturas, distancias de la TEA) o (características técnicas y de operación de las teas), reportes de situaciones de emergencia, reportes de incidentes a la fauna Y/O flora presentes en el territorio, reporte de emisiones generadas por la TEA siguiendo los protocolos y metodologías que sean aprobados por la autoridad ambiental, monitoreos de iluminación y radiación así como reportes de quejas de las comunidades aledañas al área de influencia, generadas por la TEA.
- Un aspecto de gran importancia que se recomienda para una evaluación completa y precisa por parte de la autoridad ambiental, es la ubicación geográfica de las fuentes de emisión TEAS, la cual debe ser requerida por parte de la ANLA a las empresas encargadas de todos los campos en el territorio nacional, esta información debe estar acompañada de volúmenes de gas quemado en cada campo, número de TEAS presentes en el campo, y emisiones reportadas por la TEA, así como se determinó para la salida gráfica diseñada en el presente marco técnico.
- Durante el estudio de la información de producción de gas entregada por el Ministerio de Minas y Energía, se evidenció grandes diferencias en la información de los campos que esta entidad tiene junto con la información que la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales tiene en su archivo; se recomienda generar una



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



información bajo las mismas características y unificada por parte de las dos entidades que permita los estudios y seguimiento de las actividades de exploración y explotación bajo un sola base de datos unificada.



8. LISTA DE REFERENCIAS

- American Petroleum Institute. (2008). *Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service. (API 537)*. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co>
- American Petroleum Institute. (2008). *Pressure-releving and Depressuring Systems. (API 521)*.
- AP 42 Frequent Questions. (1991). *Environmental Agency Protection*. Recuperado de <http://www.epa.gov>
- API 537. (2008). *Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service*. Washington, D.C.
- CMC Solutions. (2013). *Gas flare Monitoring Methods*. Retrieved 2013, from <http://www.gulf-forums.com>
- Department of Civil and Environmental Engineering/University of Alberta. (2000, mayo). *Alberta and Sustainable Resource Development*. Retrieved 2012, from <http://environment.gov.ab.ca>
- Ecopetrol S.A. (2010). *Actualización del Plan de Manejo Ambiental Integral Campo de producción Tello*. Bogotá D.C: ANLA.
- Ecopetrol S.A. (2010). *Actualización PMA del Bloque Castilla de la Superintendencia de Operaciones Castilla – Chimemene (SCC)*. Bogotá D.C: ANLA.
- Ecopetrol S.A. (2011). *Plan de Manejo Ambiental campo Apiay de la Superintendencia de Operaciones Apiay (SOA)*. Bogotá D.C: ANLA.
- Ecopetrol S.A. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental al Plan de Manejo Ambiental Integral Campos Huila Norte. Superintendencia de Operaciones del Huila (SOH)*. Bogotá D.C: ANLA.



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



- Ecopetrol S.A. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental campo de producción Palagua*. Bogotá D.C: ANLA.
- Ecopetrol S.A. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental CPF CUPIAGUA*. Bogotá D.C: ANLA.
- Ecopetrol S.A. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental de la Superintendencia de Operaciones del Putumayo*. Bogotá D.C: ANLA.
- Ecopetrol S.A. (2012). *Plan de Manejo Ambiental para los pozos de desarrollo Arrayan 3 y 4*. Bogotá D.C: ANLA.
- Emerald Energy Plc Sucursal Colombia. (2011). *Plan de Manejo Ambiental para la perforación de la Plataforma Multipozos Gigante 7*. Bogotá D.C: ANLA.
- Energy Resource Conservation Board. (2011). *Upstream Petroleum Industry Flaring, Incierating, And Venting (directive 060)*. Recuperado de <http://www.ercb.ca/>.
- Environmental Agency Protection. (1991). *Standards of Performance for New Stationary Sources. (part 40)*. Recuperado de www.epa.gov.
- Environmental Agency Protection. (1991). *Standards of Performance for New Stationary Sources. (part 40)*. Recuperado de www.epa.gov.
- Environmental Agency UK. (2002, Noviembre). *environment-agency.gov.uk*. Retrieved 2013, from <http://www.environment-agency.gov.uk>
- EPA. (1991). *Standards of Performance for New Stationary Sources*. Washington D.C.
- Equion Energia Limited. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental Área de desarrollo Floreña*. Bogotá D.C: ANLA.
- Equion Energía Limited. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental para el Bloque Santiago de las Atalayas, Tauramena y Rio Chitamena del CPF CUSIANA*. Bogotá D.C: ANLA.
- Gran Tierra Energy. (2011). *Informe de Cumplimiento Ambiental Campo Costayaco*. Bogotá D.C: ANLA.



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



- Hocol S.A. (2009). *Plan de Manejo Ambiental para la perforación del pozo la Cañada Norte 7*. Bogotá D.C: ANLA.
- Hocol S.A. (2010). *Informe de Cumplimiento Ambiental Asociación Palermo*. Bogotá D.C: ANLA.
- Hocol S.A. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental para la explotación del campo La Hocha*. Bogotá D.C: ANLA.
- Leza, E. y. (n.d.). *Radiacion Termica: Su Efecto en Incendios de liquidos y gases*. Peru.
- MADS. (2006, abril 7). Resolucion 627 de 2006 "por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental". Bogota D.C., Bogota D.C., Colombia.
- MADS. (2010, abril). Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminacion Atmosferica Generada por Fuentes Fijas. Bogota D.C., Bogota D.C., Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1997). *Guía para del Desarrollo de Campos Petroleros*.
- Ministerio de Minas y Energia. (2009, agosto 6). Resolucion 181331. *RETILAP*. Bogota D.C., Bogota D.C., Colombia..
- Ministerio de Minas y Energía. (Septiembre de 2012). *Balance de Producción de gas por Departamento*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Minas y Energía. (Septiembre de 2012). *Balance de Producción de gas por campo*. Bogotá D.C.
- NEON INFOTECH SOUTH EAST ASIS CO.,LTD. (2011). *Flare Radiation Analysis*). Recuperado de <http://www.neoninfotech.com>
- Perenco Colombia Limited. (2011). *Informe de Cumplimiento Ambiental Campo Tocaria*. Bogotá D.C: ANLA.



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



- Perenco Colombia Limited. (2011). *Informe de Cumplimiento Ambiental Campo de Producción Morichal*. Bogotá D.C: ANLA.
- Perenco Colombia Limited. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental para el Bloque de producción Casanare A1a*. Bogotá D.C: ANLA.
- Petro Andina Colombia. (2010). *Plan de Manejo Ambiental para la perforación del pozo exploratorio Kona*. Bogotá D.C: ANLA.
- Petrobras. (2011). *Estudio de Impacto Ambiental Área de interés de desarrollo Bloque Balay*. Bogotá D.C: ANLA.
- Petrobras. (2012). *Actualización del Plan de Manejo Ambiental del campo Matachín Norte y Sur*. Bogotá D.C: ANLA.
- Petrobras. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental para el Desarrollo y Producción del Campo Guando*. Bogotá D.C: ANLA.
- Petrominerales Colombia LTDA. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental para el Campo de Perforación Exploratoria Corcel Noreste CARUTO*. Bogotá D.C: ANLA.
- Petrominerales Colombia LTDA. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental Área de perforación exploratoria Guatiquia – PERCHERON*. Bogotá D.C: ANLA.
- Petrominerales Colombia LTDA. (2012). *Informe de Cumplimiento Ambiental para el Campo de Producción CORCEL, Facilidades Corcel A para plataformas multipozos Corcel A, C, D y EF*. Bogotá D.C: ANLA.
- Texas Commission on Environmental Quality. (2000). *Air Permit Technical Guidance for Chemical Sources: Flares and Vapor Oxidizers*. Recuperado de www.tceq.texas.gov/.
- Travis Longcore and Catherine Rich. *Ecological light pollution*. Recuperado de www.urbanwildlands.org
- Unión Temporal Omega Energy. (2011). *Informe de Cumplimiento Ambiental pozo Corrales 1*. Bogotá D.C: ANLA.
- Universidad de Medellín. (2011). PROTOCOLO PARA MEDIR LA EMISIÓN DE RUIDO. *Revista de Ingenierías Universidad de Medellín*, 9.



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



- University of Alberta. (2000). *Heat Radiation from Flares*.
- US army institute of public health. (2011). *garrison hawaii army*. Retrieved 2013, from <http://www.garrison.hawaii.army>



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



ANEXOS



ANEXO 1. DIAGNÓSTICO EMISIONES ATMOSFÉRICAS POR QUEMA DE GAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



- Memoria de cálculo para la estimación de las emisiones de cada campo en los siete departamentos estudiados, por medio de factores de emisión:

Según el documento AP-42 de la EPA (Tabla 13.5-1), los factores de emisión para las Teas son:

$NO_x = 0.068 \text{ lb/MMBTU}$

$CO = 0.37 \text{ lb/MMBTU}$

$HC = 0.14 \text{ lb/MMBTU}$

$SOOT = 0.274 \text{ } \mu\text{g/L}$

Para el cálculo de la Emisión se tomaron cada uno de estos factores y se multiplicaron por el volumen de gas quemado de cada campo de los Departamentos estudiados; teniendo en cuenta que el factor de emisión esta en unidades energéticas, se hace uso del poder calorífico del gas Natural para las correspondientes conversiones, éste es obtenido a través de la página de Ecopetrol, donde se encontraron las características típicas del gas para varios campos petroleros, de lo cual se sacó un promedio y con este valor se trabajó de la siguiente manera:

Ejemplo: Campo Orito Putumayo,

$$E = Vgq * FE$$

NO_x

Volumen gas quemado = $9.51 \text{ MMft}^3/\text{día}$

Poder Calorífico = 1077 BTU/ft^3

Factor de Emisión = 0.068 lb/MMBTU

$$E = \frac{9.51 * 10^6 \text{ ft}^3}{\text{día}} * \frac{0.068 \text{ lb}}{10^6 \text{ BTU}} * \frac{1077 \text{ BTU}}{\text{ft}^3} * \frac{454 \text{ g}}{1 \text{ lb}} * \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}}$$

Haciendo las conversiones correspondientes y eliminando unidades para que la Emisión quede en unidades de g/s, tenemos:

$$E = 3.65 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

CO

Volumen gas quemado = $9.51 \text{ MMft}^3/\text{día}$

Poder Calorífico = 1077 BTU/ft^3

Factor de Emisión = 0.37 lb/MMBTU

$$E = \frac{9.51 * 10^6 \text{ ft}^3}{\text{día}} * \frac{0.37 \text{ lb}}{10^6 \text{ BTU}} * \frac{1077 \text{ BTU}}{\text{ft}^3} * \frac{454 \text{ g}}{1 \text{ lb}} * \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}}$$



**MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE
LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL
SECTOR DE HIDROCARBUROS**



$$E = 19.91 \frac{g}{s}$$

SOOT

El factor de Emisión para Partículas presenta un rango de 0-274 µg/L, donde se ha escogido un valor medio para teas según las referencias de la Tabla 13.5-1 (AP-42 de la EPA):

Volumen gas quemado = 9.51 MMft³/día
Factor de Emisión = 177 µg/L

$$E = \frac{9.51 * 10^6 ft^3}{dia} * \frac{177 \mu g}{L} * \frac{(0.3048 m)^3}{(1 ft)^3} * \frac{1000 L}{1 m^3} * \frac{1 g}{10^6 \mu g} * \frac{1 dia}{86400 s}$$

$$E = 0.55 \frac{g}{s}$$

HC

Volumen gas quemado = 9.51 MMft³/día
Poder Calorífico = 1077 BTU/ft³
Factor de Emisión = 0.14 lb/MMBTU

$$E = \frac{9.51 * 10^6 ft^3}{dia} * \frac{0.14 lb}{10^6 BTU} * \frac{1077 BTU}{ft^3} * \frac{454 g}{1 lb} * \frac{1 dia}{86400 s}$$

$$E = 7.53 \frac{g}{s}$$



ANEXO 2. MAPA DE UBICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN EN EL TERRITORIO NACIONAL



ANEXO 3. TABLAS DE RESULTADOS DE CADA UNA DE LAS CROMATOGRAFÍAS REALIZADAS PARA LAS BATERÍAS PERTENECIENTES A LOS CONTRATOS DE LA SOP.



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



Figura – Cromatografía de Gases teas batería Caribe-Mansoya-Churuyaco-Quilili

Batería Caribe		Batería MANSOYA	
Composición Gas	23,237 KPC / Trimestre 258.19 KPCD	Composición Gas	31,230 KPC / Trimestre 347.00 KPCD
ITEM	VALOR %	ITEM	VALOR %
Carbon Dioxide	66.65	Carbon Dioxide	11.06
Nitrogen	1.86	Nitrogen	2.37
Oxygen	0.33	Oxygen	0.02
Methane	9.36	Methane	31.23
Ethane	3.90	Ethane	10.62
Propane	7.22	Propane	22.24
Butane Total	5.82	Butane Total	14.50
Pentane Total	2.70	Pentane Total	5.50
C6+	2.183	C6+	2.46
SUMATORIA	100.00	SUMATORIA	100
Batería Churuyaco		Batería QUILILÍ	
Composición Gas	4,587 KPC / Trimestre 50.96 KPCD	Composición Gas	35,236 KPC / Trimestre 391.52 KPCD
ITEM	VALOR %	ITEM	VALOR %
Carbon Dioxide	79.08	Carbon Dioxide	58.31
Nitrogen	2.23	Nitrogen	1.54
Oxygen	0.30	Oxygen	0.05
Methane	7.97	Methane	13.97
Ethane	1.91	Ethane	4.33
Propane	2.90	Propane	8.54
Butane Total	2.53	Butane Total	6.96
Pentane Total	1.43	Pentane Total	3.62
C6+	1.659	C6+	2.68
SUMATORIA	100.00	SUMATORIA	100

Fuente: Informe Anual Cumplimiento Ambiental SOP ECOPETROL S.A

Figura – Cromatografía de Gases teas batería Colon-Satélite-dos-Sucumbíos



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



Batería Colón			Batería SATÉLITE		
Composición Gas	122,103	KPC / Trimestre	Composición Gas	5,284	KPC / Trimestre
	1356.70	KPCD		58.71	KPCD
ITEM	VALOR %		ITEM	VALOR %	
Carbon Dioxide	60.75		Carbon Dioxide	19.13	
Nitrogen	1.02		Nitrogen	5.61	
Oxygen	0.01		Oxygen	1.34	
Methane	14.69		Methane	50.90	
Ethane	5.15		Ethane	5.92	
Propane	8.39		Propane	7.46	
Butane Total	5.67		Butane Total	5.80	
Pentane Total	2.31		Pentane Total	2.24	
C6+	2.002		C6+	1.60	
SUMATORIA	100.00		SUMATORIA	100	

Batería DOS			Batería SUCUMBÍOS		
Composición Gas	276,618	KPC / Trimestre	Composición Gas	212,813	KPC / Trimestre
	3073.54	KPCD		2364.59	KPCD
ITEM	VALOR %		ITEM	VALOR %	
Carbon Dioxide	71.37		Carbon Dioxide	93.85	
Nitrogen	1.36		Nitrogen	0.65	
Oxygen	0.03		Oxygen	0.01	
Methane	13.75		Methane	2.16	
Ethane	2.44		Ethane	0.43	
Propane	3.83		Propane	0.82	
Butane Total	3.56		Butane Total	0.80	
Pentane Total	1.81		Pentane Total	0.47	
C6+	1.86		C6+	0.82	
SUMATORIA	100		SUMATORIA	100	

Fuente: Informe Anual Cumplimiento Ambiental SOP ECOPETROL S.A

Figura – Cromatografía de Gases Teas batería Loro y batería Uno

Batería LORO			Batería UNO		
Composición Gas	50,998	KPC / Trimestre	Composición Gas	241,916	KPC / Trimestre
	566.65	KPCD		2687.95	KPCD
ITEM	VALOR %		ITEM	VALOR %	
Carbon Dioxide	61.71		Carbon Dioxide	75.82	
Nitrogen	0.63		Nitrogen	1.47	
Oxygen	0.01		Oxygen	0.04	
Methane	11.22		Methane	11.73	
Ethane	4.85		Ethane	2.13	
Propane	8.96		Propane	3.33	
Butane Total	6.54		Butane Total	2.65	
Pentane Total	2.85		Pentane Total	1.37	
C6+	3.24		C6+	1.47	
SUMATORIA	100		SUMATORIA	100	



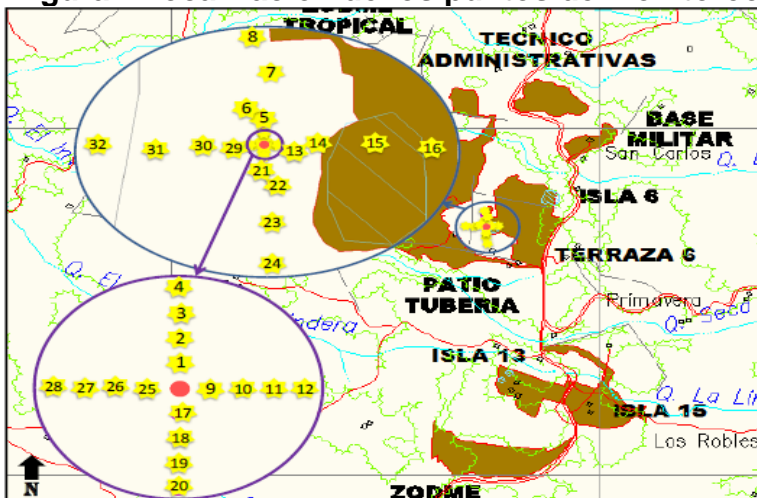
ANEXO 4. MONITOREO DE RADIACIÓN TÉRMICA DEL CAMPO GUANDO

El monitoreo de radiación térmica y temperatura se determinó el 19 de marzo de 2012 en la TEA que se encuentra localizada en la isla 6, mediante una medición de 5 lecturas a diferentes distancias para realizar un monitoreo representativo. También se aclara en el informe estudiado que dentro del campo Guando existen otras TEAS, sin embargo estas no se monitorearan debido a que el flujo de gas se utiliza para la autogeneración de energía y teniendo en cuenta esto el funcionamiento de estas TEAS es esporádico.

Para la medición de radiación térmica se estableció en el informe que la legislación colombiana no contempla el aspecto de radiación térmica como fuente de contaminación, se encontró que la empresa Consultoría y Monitoreo Ambiental, quien realizó el monitoreo reportó que la información que se utilizó para el desarrollo de este fue la Guía para el Desarrollo de Campos petroleros elaborada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y los límites permisibles de radiación para exposición de personal en condiciones de operación de TEAS o fosos de quemado. Los documentos mencionados serán objeto de análisis y estudio en el capítulo de parámetros de diseño y protocolos de medición., ya que uno de los objetivos primordiales es la realización de una propuesta formal técnica donde esta información utilizada será objeto para la realización del marco técnico.

Se realizó una localización de los puntos de monitoreo en dirección este, sur y oeste con diferentes distancias a la TEA de la isla 6 de la siguiente manera:

Figura—Localización de los puntos de monitoreo



Fuente: Informe de Cumplimiento Ambiental Numero 16 para el Desarrollo y Producción del Campo Guando. PETROBRAS

Donde se puede observar las 4 direcciones mencionadas anteriormente y la TEA que es el punto en color rojo perteneciente a la isla 6 en el campo Guando.

La medición del parámetro de radiación térmica por parte del informe estudiado se realizó mediante la utilización de un radiómetro digital.

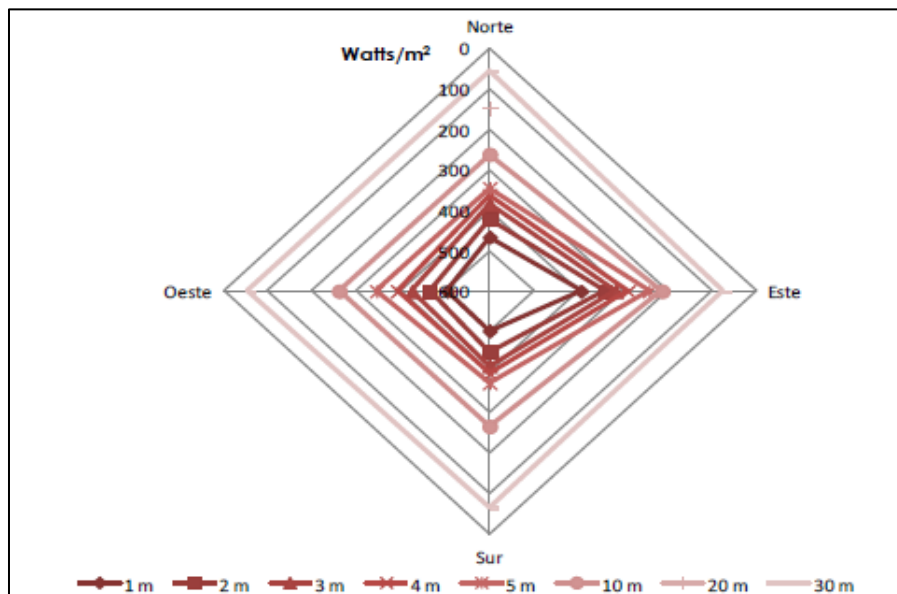
Imagen—Medición de radiación térmica a Tea



Fuente: Informe de Cumplimiento Ambiental Numero 16 para el Desarrollo y Producción del Campo Guando. PETROBRAS

Los resultados obtenidos para el monitoreo se representaron mediante gráficas, por cada uno de las direcciones de muestreo, y se presentó una gráfica general de los niveles de radiación térmica en las 4 direcciones.

Imagen—Niveles de radiación Tea isla 6 en las direcciones de monitoreo



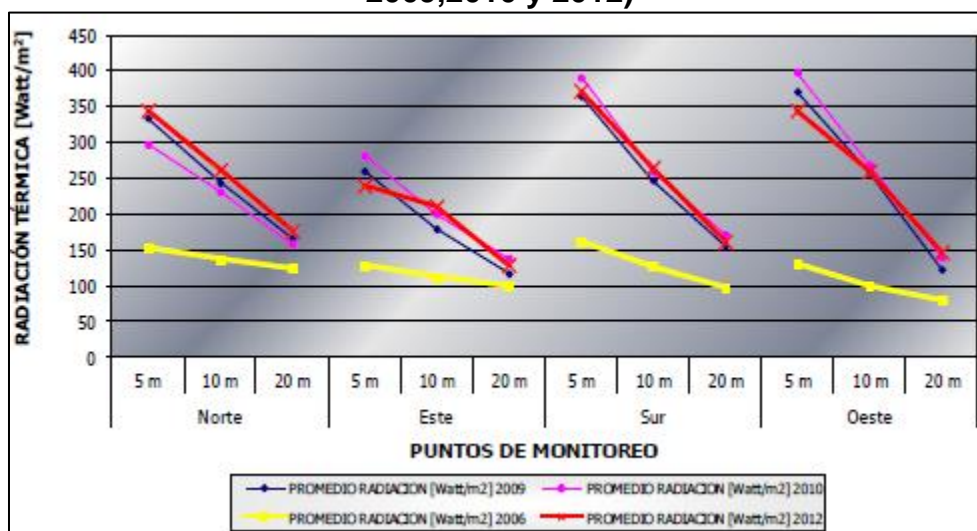
Fuente: Informe de Cumplimiento Ambiental Numero 16 para el Desarrollo y Producción del Campo Guando. PETROBRAS

Según lo obtenido en el reporte del monitoreo se encontró que los índices de radiación térmica que se evaluaron, no superan los límites establecidos por la normatividad internacional, (teniendo en cuenta que a nivel nacional no se considera un impacto ambiental la radiación térmica). Ya que el nivel de exposición establecido por la AMERICAN PETROLIUM INSITITUTE API es de 1600 Watt/m² y según el monitoreo los niveles máximos de radiación térmica fueron a los 0m de distancia de la TEA con un

promedio de 581 Watt/m² mientras que los valores mínimos se reportaron a los 30m de distancia de medición de la TEA.

Por otra parte también se realizó una comparación para el comportamiento del parámetro de radiación térmica en los años 2006,2009 y 2010 donde se realizaron monitoreos en el área de influencia de la TEA de la isla 6. Se concluyó mediante la comparación que los valores que se reportaron han demostrado un leve aumento a razón de 2watts/m² para la dirección norte, mientras que el comportamiento en las otras direcciones no presento cambios considerables.

Imagen—Comparación de niveles de radiación termia campo Guando (2006, 2009,2010 y 2012)



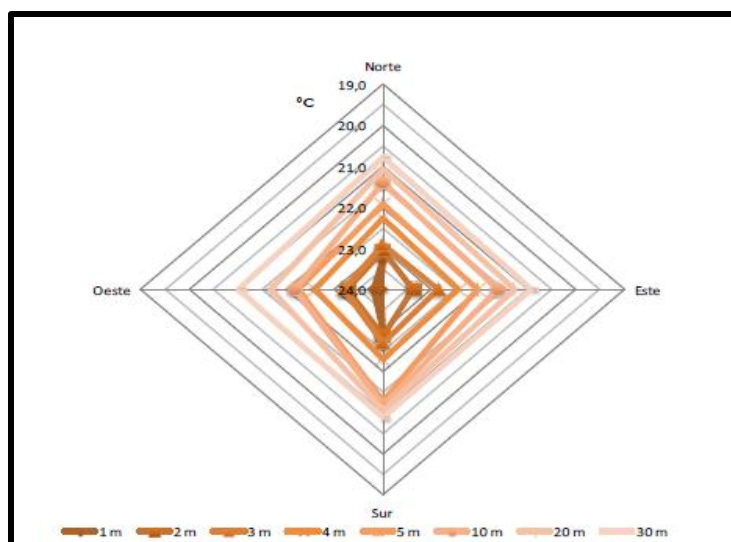
Fuente: Informe de Cumplimiento Ambiental Numero 16 para el Desarrollo y Producción del Campo Guando. PETROBRAS

Para el parámetro de temperatura se realizó la misma metodología presentada para la medición de radiación térmica, en el aspecto de la ubicación de los puntos de monitoreo a la TEA de la isla 6, y para la presentación de resultados se modelo con un SIG para la identificación de las áreas a nivel espacial donde se registró diferentes temperaturas. También se realizó una gráfica para representar los niveles de temperatura en las 4 direcciones de monitoreo, donde se interpretó por parte del laboratorio que la distribución entre la temperatura y la distancia del punto de monitoreo era inversamente proporcional, ya que al aumentar la distancia del punto de monitoreo se presentaba descenso de la temperatura.

Imagen—Niveles de temperatura tea isla 6 en las direcciones de monitoreo



MARCO TÉCNICO COMO BASE PARA LA REGLAMENTACIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS TEAS EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS



Fuente: Informe de Cumplimiento Ambiental Numero 16 para el Desarrollo y Producción del Campo Guando. PETROBRAS

Teniendo en cuenta lo anterior los índices más altos de temperatura se registraron a los 0 metros de la TEA con un cambio a razón de 24.7°C, mientras que los valores más altos se registraron a los 30 metros de la TEA con valores de 20.9°C. El análisis del laboratorio fue que *la temperatura registrada en la TEA de la isla 6 no generaba un impacto significativo al entorno*. Por otra parte el promedio de temperatura en las 4 direcciones de monitoreo Norte, Este, Sur y Oeste fue de 22.1, 22.3, 21.9 y 22.5°C respectivamente, y se analizó que la temperatura registrada presenta una variabilidad mínima influenciada por la combustión de los gases en la TEA.