

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**ESCUELA DE QUÍMICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“Cuantificación de las emisiones de gases de efecto  
invernadero del Plantel El Alto en Ochomogo,  
RECOPE”**



PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

**REALIZADO POR:**

**Sofía Daniela Sánchez Calderón**

**Cartago, Abril de 2012**

**“Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero del  
Plantel El Alto en Ochomogo, RECOPE”**

Informe presentado a la Escuela de Química  
del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial  
para optar al título de Ingeniero Ambiental con el grado en Licenciatura

Miembros del Tribunal

---

M.Sc. Giovanni Sánchez Silesky  
Director de Tesis

---

Lic. Julieta Flores Narango  
Lector

---

Lic. David Benavides Ramírez  
Lector

## DEDICATORIA

A Dios todopoderoso por todo lo que me ha dado. A mis queridos padres, por su amor, su comprensión y por apoyarme incondicionalmente en todo momento, durante mi estudio en la universidad y toda mi vida, que no me dejaron caer y me dieron la fortaleza necesaria para salir adelante, son los mejores. A mis dos hermanos, con quienes he compartido penas y alegrías, por su cariño y apoyo. A mi sobrina mi princesa, por ser tan amorosa y bella, y llenar mi vida de alegrías... Los amo con todo mi corazón!

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a mi Dios inmensamente que me dio el don de la vida, porque está conmigo en cada paso que doy, cuidándome y que me permitió culminar esta etapa de mi vida con su guía espiritual. A mi familia por su apoyo incondicional. A la empresa RECOPE y a los funcionarios que hicieron posible el desarrollo de este proyecto y mi estancia en el Plantel El Alto. A mi profesor tutor que ha sido una gran ayuda con su guía y sus consejos en este proceso. A mis dos lectores por la dedicación en la revisión del trabajo. A todas aquellas personas que contribuyeron con sus aportes tan valiosos para la realización del trabajo. A la institución y a los profesores por los conocimientos transmitidos que forman parte de mi formación como profesional.

## ÍNDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| <b>DEDICATORIA</b> .....   | iii  |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....   | iv   |
| <b>ÍNDICE GENERAL</b> .....  | v    |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....   | viii |
| <b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....  | x    |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....   | xi   |
| <b>RESUMEN</b> .....   | xiii |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | xiv  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....  | 1    |
| Perfil de la empresa .....   | 2    |
| Objetivos y Alcance.....   | 3    |
| Objetivo general .....   | 3    |
| Objetivos específicos .....  | 3    |
| Alcance del Inventario.....  | 3    |
| <b>MARCO TEÓRICO</b> .....   | 4    |
| <b>METODOLOGÍA</b> .....   | 17   |
| A. Fuentes de combustión estacionaria. ....                              | 18   |
| B. Fuentes de combustión móviles.....                                    | 19   |
| C. Compensación de emisiones.....  | 21   |
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....  | 24   |
| <b>Inventario de emisiones de GEI del Plantel El Alto, RECOPE.</b> ..... | 24   |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1.1 Emisiones por combustión móvil.....</b>  | <b>24</b> |
| 1.1.1 Flotilla Vehicular y Equipo Especial.....   | 24        |
| 1.1.2 Montacargas.....  | 27        |
| 1.1.3 Equipo Móvil.....   | 30        |
| <b>1.2 Emisiones por combustión estacionaria.....</b>   | <b>33</b> |
| 1.2.1 Equipo Estático.....  | 33        |
| 1.2.2 Caldera.....  | 37        |
| 1.2.3 Electricidad.....   | 40        |
| 1.3 Emisiones totales emitidas por el Plantel El Alto.....  | 43        |
| <b>CAPÍTULO 2.....</b>  | <b>47</b> |
| <b>Propuesta de medidas de mitigación de emisiones .....</b>  | <b>47</b> |
| <b>2.1 Acciones de reducción de emisiones del área de Calderas.....</b>                               | <b>48</b> |
| Plan de Eficiencia Energética (PEE) .....   | 58        |
| <b>2.2 Compensación de emisiones.....</b>   | <b>63</b> |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>   | <b>68</b> |
| Conclusiones.....   | 68        |
| Recomendaciones .....   | 69        |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>71</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>74</b> |
| Anexo N°1. Potencial de Calentamiento Global para 100 años.....                                       | 75        |
| Anexo N°2. Ubicación de la zona de Ochomogo de Cartago.....   | 76        |
| Anexo N°3. Porcentaje de generación por tipo de fuente de energía en Costa Rica para el año 2010..... | 78        |

**“Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero del Plantel El Alto en Ochomogo, RECOPE”**

|  |    |
|--|----|
| Anexo N°4. Poder calórico y densidad de distintos tipos de combustibles.....                                     | 79 |
| Anexo N°5. Resultados del Inventario de emisiones de GEI de Costa Rica del año 2005.<br>.....                    | 80 |
| Anexo N°6. Planta General El Alto, RECOPE. ....  | 81 |
| Anexo N°7. Área de producto negro Plantel El Alto, RECOPE.....   | 82 |
| Anexo N°8. El ciclo del vapor en un Sistema de vapor. ....   | 83 |
| Anexo N°9. Reporte operacional de la caldera del Alto de Ochomogo, RECOPE.....                                   | 84 |
| Anexo N°10. Estudio de emisiones de gases de la fuente Caldera .....   | 86 |
| Anexo N°11. Rendimiento energético y de la contaminación global en función del<br>exceso de aire <i>e</i> . .... | 95 |
| Anexo N°12. Ubicación de la Finca Torito. ....   | 96 |
| Anexo N°13. Plano Finca Torito.....  | 97 |
| Anexo N°14. Fotos de la Finca Torito.....  | 98 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| <b>Cuadro N°1.</b> Contribución de los gases al Efecto Invernadero.....   | 14 |
| <b>Cuadro N°2.</b> Identificación y clasificación de fuentes de emisión del Plantel EL Alto, RECOPE.....  | 18 |
| <b>Cuadro N°3.</b> Distribución de la generación térmica para el año 2010.....  | 19 |
| <b>Cuadro N°4.</b> Factores de emisión de referencia de diversos tipos de combustible.....  | 21 |
| <b>Cuadro N°5.</b> Valores a utilizar para estimar la capacidad de almacenamiento de carbono por especie.....   | 23 |
| <b>Cuadro N°6.</b> Emisiones totales de CO <sub>2</sub> equivalente procedente de la Flotilla Vehicular y el Equipo Especial del Plantel El Alto, en el año 2010..... | 27 |
| <b>Cuadro N°7.</b> Emisiones totales de CO <sub>2</sub> equivalente procedente del consumo de combustibles para el Montacargas, en el año 2010.....                   | 30 |
| <b>Cuadro N°8.</b> Emisiones totales de CO <sub>2</sub> equivalente procedente del uso de combustibles para el Equipo Móvil, en el año 2010.....                      | 33 |
| <b>Cuadro N°9.</b> Equipos estáticos de combustión del Plantel El Alto, RECOPE.....   | 33 |
| <b>Cuadro N°10.</b> Emisiones totales de CO <sub>2</sub> equivalente procedente del uso de combustibles para el Equipo Estático, en el año 2010.....                  | 37 |
| <b>Cuadro N°11.</b> Emisiones totales de CO <sub>2</sub> equivalente procedente del consumo eléctrico del plantel, en el año 2010.....                                | 43 |
| <b>Cuadro N°12.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por fuente causadas en el Plantel El Alto, en el año 2010.....   | 45 |
| <b>Cuadro N°13.</b> Características de las calderas del Plantel El Alto, RECOPE.....  | 48 |



|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro N°14.</b> Tanques de almacenamiento de Producto negro del Plantel El Alto, RECOPE.....                                 | 54 |
| <b>Cuadro N°15.</b> Ahorro estimado al implementar las medidas de reducción de emisiones de GEI en la caldera. ....              | 60 |
| <b>Cuadro N°16.</b> CO <sub>2</sub> almacenado según especie. ....   | 64 |
| <b>Cuadro N°17.</b> Estimación de emisiones de CO <sub>2</sub> fijadas por especie en la Finca Torito.....                       | 65 |
| <b>Cuadro N°18.</b> Costo de reforestar la Finca Torito para compensar parte de las emisiones de GEI del Plantel El Alto.....    | 66 |
| <b>Cuadro N°19.</b> Área a reforestar por especie para compensar las emisiones del Plantel El Alto, durante el período 2010..... | 67 |
| <b>Cuadro N°20.</b> Potencial de Calentamiento Global (PCG). ....  | 75 |
| <b>Cuadro N°21.</b> Generación por tipo de fuente de energía en Costa Rica para el año 2010. 78                                  |    |
| <b>Cuadro N°22.</b> Poder calórico y densidad de distintos tipos de combustibles. ....   | 79 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| <b>Gráfico N°1.</b> Componentes del Forzamiento Radiactivo. ....  | 5  |
| <b>Gráfico N°2.</b> Anomalías de temperaturas medias por década global. ....  | 7  |
| <b>Gráfico N°3.</b> Temperaturas globales anuales desde 1880 a 2010. ....   | 8  |
| <b>Gráfico N°4.</b> Temperaturas globales anuales desde 1880 a 2010. ....   | 13 |
| <b>Gráfico N°5.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente procedente de la Flotilla Vehicular y el Equipo Especial, durante el periodo 2010. ....  | 26 |
| <b>Gráfico N°6.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente procedentes del consumo de combustibles del Montacargas, durante el período 2010. ....   | 29 |
| <b>Gráfico N°7.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente procedente del uso de combustible del Equipo Móvil, durante el período 2010. ....        | 32 |
| <b>Gráfico N°8.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente procedente del uso de combustible del Equipo Estacionario, durante el período 2010. .... | 36 |
| <b>Gráfico N°9.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente procedente del consumo de bunker en la Planta de calderas, durante el periodo 2010. .... | 39 |
| <b>Gráfico N°10.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente procedente del consumo eléctrico del plantel, durante el periodo 2010. ....             | 42 |
| <b>Gráfico N°11.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por fuente causadas por el Plantel El Alto, durante el período 2010. ....               | 44 |
| <b>Gráfico N°12.</b> Porcentaje (%) de emisiones totales de CO <sub>2</sub> e por fuente emitida por el Plantel El Alto, en el año 2010. ....         | 46 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura N°1.</b> Relación Efecto Invernadero – Calentamiento Global.....   | 10 |
| <b>Figura N°2.</b> Flotilla vehicular del Plantel El Alto, RECOPE.....   | 25 |
| <b>Figura N°3.</b> Equipo especial del Plantel El Alto, RECOPE.....  | 25 |
| <b>Figura N°4.</b> Montacargas del almacén del Plantel El Alto, RECOPE. ....   | 28 |
| <b>Figura N°5.</b> Máquina de soldar del Plantel El Alto, RECOPE. ....   | 31 |
| <b>Figura N°6.</b> Motor MP-3 del área de bombeo del Plantel El Alto, RECOPE.....  | 34 |
| <b>Figura N°7.</b> Motor del Sistema contra Incendios del Plantel El Alto, RECOPE.....   | 35 |
| <b>Figura N°8.</b> Planta de Emulsión Asfáltica del Plantel El Alto, RECOPE.....   | 38 |
| <b>Figura N°9.</b> Área de cargaderos de combustible del Plantel El Alto. ....   | 41 |
| <b>Figura N°10.</b> Caldera UB-414.....  | 49 |
| <b>Figura N°11.</b> Caldera UB-413.....  | 50 |
| <b>Figura N°12.</b> Caldera UB-415.....  | 50 |
| <b>Figura N°13.</b> Diagrama de flujo del Sistema de generación de vapor del Plantel El Alto, RECOPE.....                              | 51 |
| <b>Figura N°14.</b> Tanque de recolección de condensados del Sistema de vapor .....  | 53 |
| <b>Figura N°15.</b> Chimeneas de las calderas del Plantel El Alto. ....  | 55 |
| <b>Figura N°16.</b> Diagrama de recuperación de calor de los gases de combustión para el precalentamiento del aire de combustión. .... | 59 |
| <b>Figura N°17.</b> Ubicación de la zona de Ochomogo.....  | 76 |
| <b>Figura N°18.</b> Ubicación geográfica del Plantel E Alto. ....  | 77 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura N°19.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente del Inventario de emisiones de Costa Rica para el 2000 y 2005 .....                   | 80 |
| <b>Figura N°20.</b> Distribución de la emisión de GEI por fuente para el 2005 de Inventario Nacional de Costa Rica.....                            | 80 |
| <b>Figura N°21.</b> Planta general El Alto, RECOPE. ....   | 81 |
| <b>Figura N°22.</b> Área de producto negro del Plantel El Alto, RECOPE. ....   | 82 |
| <b>Figura N°23.</b> El ciclo del vapor Ideal.....  | 83 |
| <b>Figura N°24.</b> El ciclo del vapor Real. ....  | 83 |
| <b>Figura N°25.</b> Reporte diario operacional en la caldera del Alto de Ochomogo, RECOPE.   | 84 |
| <b>Figura N°26.</b> Estudio de emisiones de gases de la chimenea de la caldera UB-415.....   | 86 |
| <b>Figura N°27.</b> Estudio de emisiones de gases de la chimenea de la caldera UB-414.....   | 89 |
| <b>Figura N°28.</b> Estudio de emisiones de gases de la chimenea de la caldera UB-413.....   | 92 |
| <b>Figura N°29.</b> Variación del rendimiento energético y de la contaminación global en función del exceso de aire $e$ en calderas y hornos. .... | 95 |
| <b>Figura N°30.</b> Ubicación de la Finca Torito. ....   | 96 |
| <b>Figura N°31.</b> Plano Finca Torito. ....   | 97 |
| <b>Figura N°32.</b> Fotos de la Finca Torito en Peralta de Turrialba. ....   | 98 |

## RESUMEN

El presente proyecto comprende el estudio de la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), expresada en términos de CO<sub>2</sub> equivalente, para el Plantel El Alto de la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE); ubicado en la zona industrial de Ochomogo, en la provincia de Cartago, Costa Rica.

Para la cuantificación de las emisiones del plantel se utilizó la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), el cual se basa en el uso de factores de emisión de referencia. Los GEI analizados correspondieron a: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

Se determinaron las fuentes generadoras de emisiones de GEI del plantel y de estas se obtuvo como resultado que el plantel emitió alrededor de 5.849,03 t de CO<sub>2</sub> e durante el 2010, año en estudio. La fuente de mayor emisión representa el 86,70% del total de las emisiones. Para lograr la Carbono Neutralidad, se propusieron acciones de reducción y compensación de emisiones.

Como medida de reducción se propone un Plan de Eficiencia Energética (PEE) para la fuente de mayor emisión. Con la implementación de este se estima la reducción de alrededor 1.268 t de CO<sub>2</sub> e con un ahorro aproximado de ₡131.129.925 por año.

Como medida de compensación, se estimó la fijación de CO<sub>2</sub> que generarían varias especies de árboles en una finca de la empresa ubicada en Peralta de Turrialba, al ser reforestada. Como resultado se obtuvo que puede fijar cerca de 320,68 t de CO<sub>2</sub> e con la especie *Vochysia guatemalensis* (especie de mayor fijación). Para compensar el resto de las emisiones, se recomienda reforestar alrededor de 133 ha de terreno con la misma especie.

**Palabras claves:** Cambio Climático, Emisiones, Gases de Efecto Invernadero, Mitigación, Reducción, Compensación, Carbono Neutral.

## ABSTRACT

The present thesis involves the study of the quantification of emissions of greenhouse gases (GHG), expressed in terms of equivalent CO<sub>2</sub>, using a method of emissions estimation applied to Plantel El Alto, a facility that belongs to Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE); located in the industrial area of Ochomogo, in the province of Cartago, Costa Rica.

For quantification of emissions on the facility, the methodology used was the one proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) which is based on the use of reference emission factors. Analyzed corresponded to GHGs: carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O).

The generating sources of emissions of GHG in the facilities were located, and from these are obtained as result that they were emit around 5.849,03 t of CO<sub>2</sub> during 2010, year of the study. The major source of emissions represents an 86,70% of the total emissions. To achieve carbon neutrality, some actions were proposed to reduce and offset emissions.

As an emission reduction measure, an Energy Efficiency Plan (EEP) is proposed for the higher emission source. With the implementation of this would be reducing about 1.268 t of CO<sub>2</sub> e with an estimated saving of ¢131,129,925 per year.

As a compensation measure, estimations were calculated regarding the amount of CO<sub>2</sub> that different tree species would generate in a land property of the company, located in Peralta, Turrialba, after being reforested. As result were obtained that can fix about 320,68 t of CO<sub>2</sub> to the species *Vochysia guatemalensis* (more fixing species). To compensate the remaining emissions, it is recommended to reforest approximately 133 acres of the same species.

**Keywords:** Climate Change, Emissions, Greenhouse Gases, Mitigation, Reduction, Compensation, Carbon Neutral.

## INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los años la actividad humana ha ido creciendo, hay más desarrollo industrial, más uso de combustible fósil, uso de tierras con fines económicos entre otras que ha ocasionado que aumente la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), siendo estos uno de los principios del calentamiento del planeta. Su capacidad de influir sobre el clima global se explica por la larga vida media de muchos de ellos, que a pesar de una emisión localizada, terminan distribuyéndose en toda la atmósfera.

Los GEI absorben parcialmente la emisión de radiación infrarroja que emite la superficie por la radiación solar, re-emitiendo radiación del mismo tipo (infrarroja), tanto al espacio exterior como hacia la superficie, fenómeno que se conoce como Efecto Invernadero. Estos gases, entre los cuales está el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), regulan la temperatura del planeta. Un cambio en las concentraciones de estos gases implicaría cambios en el sistema climático.

Por este motivo y con aras de lograr un cambio, el gobierno de Costa Rica decide actuar frente al cambio climático de manera tal que se puedan reducir sus efectos al ambiente. Como parte de este compromiso se establece la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), acción que pretende mitigar los impactos a la atmósfera para alcanzar la meta país, que es llegar a ser la primera nación Carbono Neutro en el año 2021, que indica que las emisiones emitidas son iguales a las emisiones mitigadas. Como parte de este compromiso, se solicita a todas las instituciones públicas la elaboración y ejecución de un plan de acción en este tema.

Lo que se pretende con la realización de este proyecto, desde un punto de vista ambiental, es contribuir en cierto grado a resolver la problemática de “Cambio Climático” y cumplir con ese compromiso asumido por el país. Dando soluciones a la contaminación del aire que se produce por el aporte de GEI que ocasiona el Plantel El Alto de RECOPE, debido al consumo de combustibles fósiles y electricidad.

Para lo cual, se cuantificaron las emisiones de GEI del plantel, expresada en términos de CO<sub>2</sub> equivalente, mediante el método propuesto por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) conformando un inventario de emisiones. Además, se establecieron medidas de mitigación de esas emisiones, mediante la propuesta de un Plan de Eficiencia Energética (PEE) como medida de reducción y el establecimiento de plantaciones forestales como medida de compensación.

## **Perfil de la empresa**

La Refinadora Costarricense de Petróleo S.A (RECOPE), caracterizada como Empresa Pública, fue fundada en el año 1963. RECOPE se dedica a la importación, refinación, mezcla y distribución de productos de petróleo a todo Costa Rica.

La empresa cuenta con las siguientes instalaciones: un muelle petrolero y una refinería ubicados en Moín, Limón. Cuatro planteles de almacenamiento y ventas, los cuales están conectados a un sistema de flujo en sentido Atlántico-Pacífico, que conecta entre sí a los planteles de Moín, El Alto, La Garita, Aeropuerto y Barranca. Además tiene dos subestaciones de bombeo, ubicadas en Turrialba y Siquirres. Los combustibles más livianos (gasolinas, diésel, queroseno y combustibles de aviación) son transportados mediante el oleoducto desde la refinería hasta los demás planteles.

El Plantel El Alto almacena y vende producto limpio (diesel, queroseno, gasolina) y producto negro (bunker, asfalto, emulsión asfáltica) que abastece a la zona metropolitana principalmente. El producto limpio se caracteriza por ser de baja viscosidad, menor de cuatro Centistokes (unidad de medida de viscosidad), mientras que el producto negro presenta una viscosidad mayor a cuatro Centistokes.



## Objetivos y Alcance

### Objetivo general

- Cuantificar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) expresada en términos de CO<sub>2</sub> equivalente del Plantel El Alto de RECOPE mediante métodos de estimación de emisiones para la toma de decisiones en medidas de mitigación y a su vez para que sirva de modelo para otros planteles de la empresa.

### Objetivos específicos

- Realizar un inventario de emisiones de los GEI para que RECOPE tenga el conocimiento de la cantidad de gases que genera el Plantel El Alto.
- Determinar estrategias de mitigación que ayuden a la reducción y/o compensación de las emisiones de GEI generadas en el plantel.

### Alcance del Inventario

Para el Plantel El Alto, lugar donde se realizó el estudio, los límites organizacionales del inventario comprenden las emisiones generadas a partir del consumo de combustibles fósiles del año 2010, las cuales se categorizaron en emisiones directas debidas al consumo de combustible en las áreas de calderas, trasiego de combustible, sistema contra incendios, consumo de GLP, equipo móvil, la flotilla vehicular y equipo especial. A la vez se contabilizaron las emisiones indirectas debidas al consumo eléctrico del plantel.

## MARCO TEÓRICO

La Atmósfera es la envoltura gaseosa, de unos 200 kilómetros de espesor, que rodea la Tierra. Constituye el principal mecanismo de defensa de las distintas formas de vida. Ha necesitado miles de millones de años para alcanzar su composición y estructura que la hacen apta para la respiración de los seres vivos que la habitan (Valera, 2004).

Una de las funciones más importantes que realiza la atmósfera es proteger a los seres vivos de los efectos nocivos de las radiaciones solares ultravioleta. La Tierra recibe todo un amplio espectro de radiaciones procedentes del Sol, que terminarían con toda forma posible de vida sobre su superficie, de no ser por el ozono y el oxígeno de la atmósfera, que actúan como un filtro absorbiendo parte de las radiaciones ultravioleta (Valera, 2004). Este proceso consiste en que la tierra absorbe la radiación del Sol, sobre todo en la superficie terrestre; donde esta energía es redistribuida luego por las circulaciones atmosférica y oceánica, y es irradiada nuevamente al espacio en longitudes de onda más largas (infrarrojas). La energía de la radiación solar que ingresa se equilibra aproximadamente con la radiación terrestre saliente (IPCC, 2001).

Cualquier factor que altere la radiación recibida del Sol o perdida en el espacio, o que altere la redistribución de energía dentro de la atmósfera y entre la atmósfera, la tierra y el océano, puede afectar el clima. Un cambio en la energía radiactiva neta disponible para el sistema mundial de Tierra-Atmósfera se le denomina Forzamiento Radiactivo, que se refiere a la perturbación del balance de energía de este sistema que ocasiona cambios en los parámetros climáticos. Los forzamientos radiactivos positivos tienden a calentar la superficie de la Tierra y la atmósfera inferior. Los forzamientos radiactivos negativos tienden a enfriarlas (IPCC, 2001).

# Radiative Forcing Components

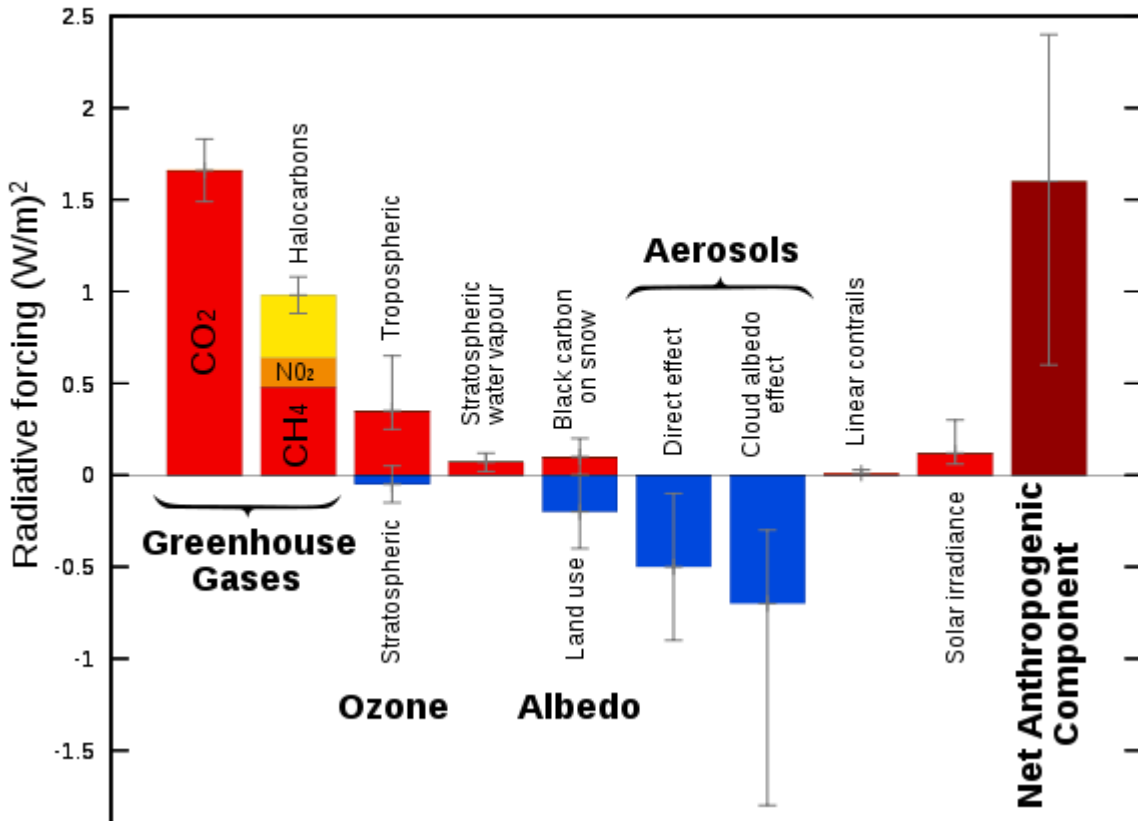


Gráfico N°1. Componentes del Forzamiento Radiactivo.

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Radiative-forcings.es.svg>

El gráfico muestra el cambio en el forzamiento radiactivo entre 1750 y 2005 según estimaciones del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) y muestra cuales componentes son los causantes de este fenómeno que ocurre desde la Revolución Industrial (IPCC, 2002).

Aunado a esto, el aumento de estos componentes ha provocado a lo largo de los 4.600 millones de años de historia de la Tierra que se generen fluctuaciones climáticas muy grandes. En algunas épocas el clima ha sido cálido y en otras frío y, a veces, se ha pasado bruscamente de unas situaciones a otras (Echarri, 2007). A estas variaciones en el clima se le relaciona con el término “Cambio Climático”.

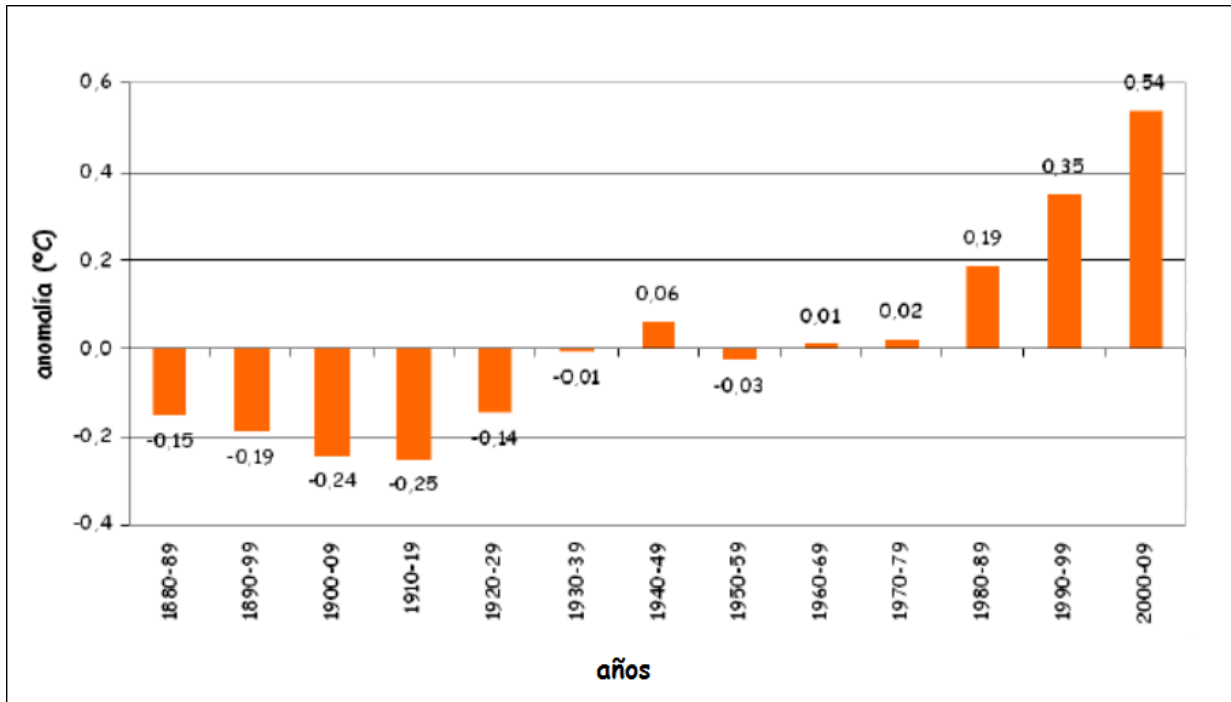
El IPCC define Cambio Climático como: “Variación estadísticamente significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantiene durante un período prolongado (generalmente durante decenios o por más tiempo). El cambio del clima puede deberse a procesos naturales internos o a un forzamiento externo, o a cambios antropógenos duraderos en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra” (IPCC, 2001).

Por otro lado, la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su Artículo uno, define el cambio climático como: “Cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (IPCC, 2001).

Cabe resaltar que la CMCC hace una distinción entre “cambio climático”, el cual se lo atribuye a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera, mientras que “variabilidad del clima”, atribuible a causas naturales (IPCC, 2001).

La principal evidencia de que está sucediendo un cambio en el sistema climático, es el aumento de la temperatura promedio de la atmósfera terrestre. Además de otros factores relacionados con el aumento del nivel del mar, la disminución de las capas de hielo en las zonas del ártico, la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos y algunos cambios en los ecosistemas (INE, 2010).

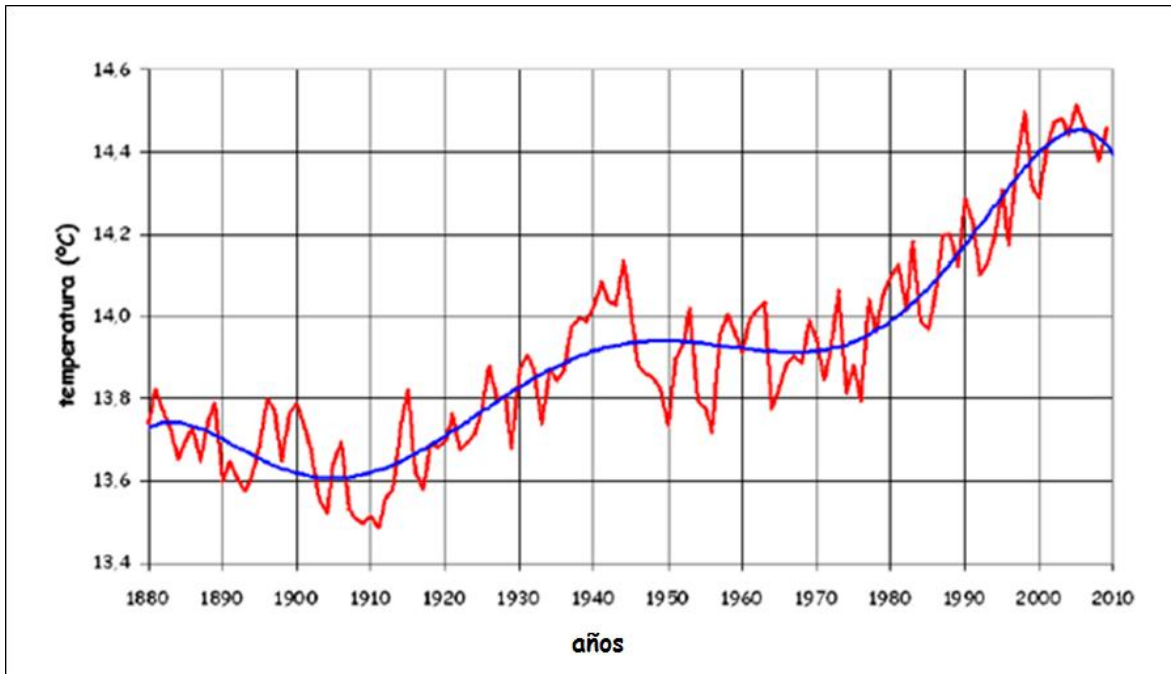
De acuerdo a pruebas instrumentales hace 150 años en el pasado, las temperaturas en la superficie se han elevado globalmente con importantes variaciones regionales. Un rango de incremento se ha visto en los últimos 25 años, y 11 de los 12 años más calientes en registro han ocurrido en los últimos años. Arriba de la superficie, las observaciones globales desde 1950 muestran que la tropósfera (arriba de los 10 kilómetros) se ha calentado ligeramente más que la superficie, mientras que la estratósfera (de los 10 a los 30 kilómetros) se ha enfriado desde 1979 (INE, 2010).



**Gráfico N°2.** Anomalías de temperaturas medias por década global.

Fuente: <http://cambioclimaticoenergia.blogspot.com/2010/08/la-evolucion-de-las-temperaturas-por.html>

El gráfico anterior muestra el aumento que se da en la temperatura sobre la superficie de la tierra a través de décadas de años, a esto se le conoce como anomalías. El período de 2000-2009 ha sido el más cálido desde los últimos registros confiables con los que se cuenta, ya que la temperatura aumento en 0.54 °C.



**Gráfico N°3.** Temperaturas globales anuales desde 1880 a 2010.

Fuente: <http://cambioclimaticoenergia.blogspot.com/2010/05/temperaturas-globales-del-ano-2009.html>

Por consiguiente, al aumentar las anomalías al pasar de los años, aumenta la temperatura anual global. Esto se muestra en el gráfico N°3, donde la temperatura es variable, es decir, esta no se mantiene constante, producto del aumento de las anomalías.

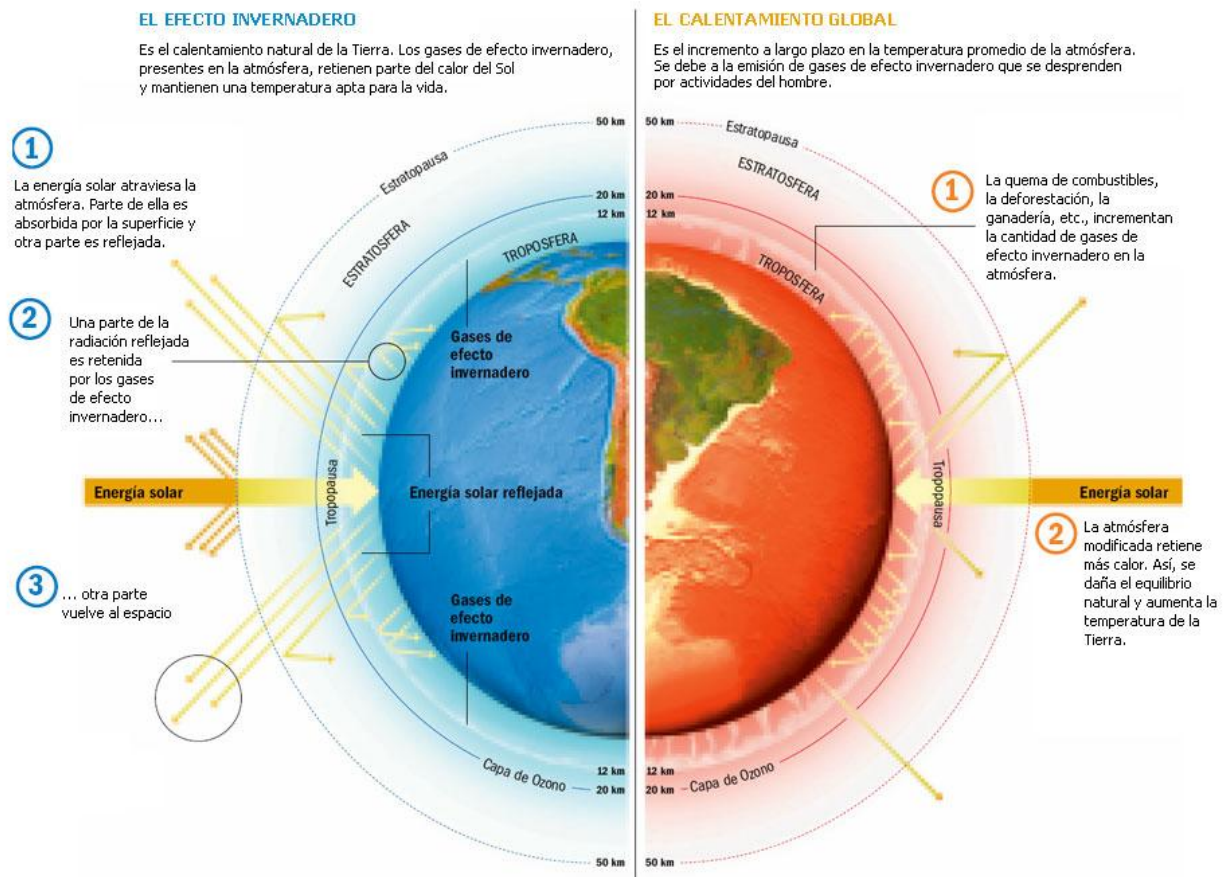
Conjuntamente el “Cambio Climático” ocurre por una exacerbada acción del Efecto Invernadero, resultado del incremento de las concentraciones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), es decir, de la cantidad y variedad de algunos de los gases que componen la atmósfera. Debido a las actividades humanas que emiten estos gases ocasionando un cambio ligeramente en la composición de la atmósfera (INE, 2010).

En los últimos trescientos años la cantidad de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) aumentó de 280 a 368 miligramos por metro cúbico ( $\text{mg}/\text{m}^3$  o partes por millón); la de metano, de 0.7 a 1.75  $\text{mg}/\text{m}^3$ ; y la de óxido nitroso, de 0.27 a 0.316  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Esto significa que, en volumen, ahora el dióxido de carbono es el 0.046% de la atmósfera en lugar del 0.035%; el metano ahora es el 0.00037% en lugar del 0.00015%, y el óxido nitroso es el 0.00000187% en vez del 0.0000016% (INE, 2010).

La Tierra recibe de forma permanente un flujo de rayos solares; una parte de los rayos del sol son reflejados al espacio por las nubes, pero la mayor parte de estas ondas luminosas atraviesan la atmósfera y alcanzan la superficie terrestre. La energía recibida del Sol calienta la superficie de la Tierra y los océanos (INE, 2010).

Los GEI absorben efectivamente la radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra. La atmósfera emite radiación en todas direcciones, inclusive hacia la superficie de la Tierra. De esta manera, los GEI atrapan el calor dentro del sistema tropósfera-superficie. A esto se le conoce como Efecto Invernadero Natural (IPCC, 2001).

## “Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero del Plantel El Alto en Ochoмого, RECOPE”



**Figura N°1.** Relación Efecto Invernadero – Calentamiento Global.

Fuente: <http://educasitios2008.educ.ar/aula124/>

La radiación atmosférica está estrechamente vinculada a la temperatura del nivel desde el cual se emite. En la tropósfera, la temperatura tiende a disminuir con la altura. En efecto, la radiación infrarroja emitida hacia el espacio se origina a una altitud en que la temperatura es de  $-19^{\circ}\text{C}$  como promedio, en equilibrio con la radiación solar incidente neta, mientras que la superficie de la Tierra se mantiene a una temperatura mucho más alta, de  $+14^{\circ}\text{C}$  como promedio.



Cuando aumenta la concentración de los GEI, se acentúa la opacidad infrarroja de la atmósfera, lo que a su vez genera una radiación efectiva hacia el espacio desde una altitud mayor, a una temperatura más baja. Esto explica por qué los gases de invernadero forman parte de los componentes del Forzamiento Radiactivo, y que provocan un desequilibrio que sólo puede compensarse con un aumento de la temperatura del sistema superficie-tropósfera (IPCC, 2001).

Es importante señalar que no todo el calor que es absorbido por el Efecto Invernadero se mantiene en la atmósfera, sino que una parte regresa al espacio exterior. El clima terrestre depende, precisamente, del balance energético entre la radiación solar y la radiación emitida por la Tierra (INE, 2010).

Los GEI o Gases de Invernadero son los compuestos gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos (de origen humano), que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Sin los GEI la Tierra sería demasiado fría para albergar vida (IPCC, 2001).

Según el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, establece los siguientes seis GEI: Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), Metano ( $\text{CH}_4$ ), Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ). Este es un acuerdo internacional que tiene como objetivo reducir las emisiones de estos gases (Protocolo de Kyoto, 1998).

Asimismo, los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo, están regulados por el Protocolo de Montreal. Este es un tratado internacional relativo a sustancias agotadoras de la capa de ozono establecido en el año 1987 y diseñado para proteger la capa de ozono a través de la reducción de las sustancias que se creen responsables del agujero de la capa de ozono: los clorofluorocarbonos.

Los tres primeros gases más importantes se describen a continuación (Keily, 1999) (Echarri, 2007) (IPCC, 2007):

i. Dióxido de carbono: CO<sub>2</sub>

El dióxido de carbono no es un contaminante en sentido convencional. Es un componente natural de la atmósfera (0.033 por 100) y esencial para el crecimiento de las plantas. El quemado de combustibles fósiles, incluyendo las centrales térmicas de carbón y los incendios forestales, han incrementado los niveles de CO<sub>2</sub> desde 315 ppm en 1958 a 379 ppm en 2005, como también en menor parte los cambios de uso de tierra. En la actualidad se admite que el CO<sub>2</sub> producido por el hombre es el gas más importante de entre los Gases de Invernadero.

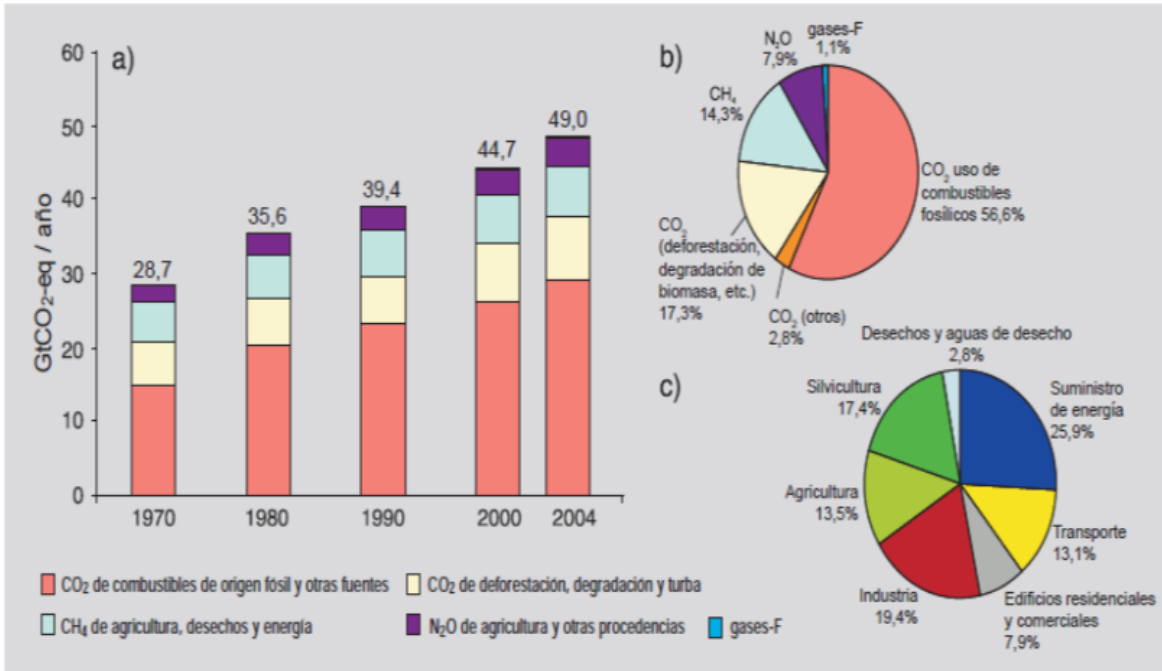
ii. Metano: CH<sub>4</sub>

El metano es un gas que se genera en la naturaleza en condiciones anaerobias. Este proceso tiene lugar en lagunas, campos de arroz, ganaderías, agricultura y en la producción y consumo de los combustibles fósiles. El CH<sub>4</sub> posee un tiempo de residencia alto de aproximadamente 10 años, después del cual puede oxidarse con radicales OH. Se estima que su concentración en la atmósfera ha aumentado en los pasados 200 años correspondiéndose con el aumento poblacional, llegando en el 2005 a 1774 ppm.

iii. Óxido nitroso: N<sub>2</sub>O

Su tiempo de residencia aproximada es de 150 años y es unas 200 veces más potente como gas de invernadero que el CO<sub>2</sub>. La cantidad ha aumentado en un 0,25% anual, en la época preindustrial los niveles eran alrededor de 270 ppb y alcanzaron los 319 ppb en 2005. Las cantidades de N<sub>2</sub>O producidas son insignificantes en comparación con las de CO<sub>2</sub> y aparecen en las depuradoras de aguas residuales e industriales, la agricultura y en los gases de combustión.

“Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero del Plantel El Alto en Ochomogo, RECOPE”



a) Emisiones anuales mundiales de GEI antropógenos entre 1970 y 2004. b) Parte proporcional que representan diferentes GEI antropógenos respecto de las emisiones totales en 2004, en términos de CO<sub>2</sub> equivalente. c) Parte proporcional que representan diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropógenos en 2004, en términos de CO<sub>2</sub> equivalente.

**Gráfico N°4. Temperaturas globales anuales desde 1880 a 2010.**

*Fuente: (IPCC, 2008)*

Estudios científicos han identificado el Potencial de Calentamiento Global (PCG o GWP por sus siglas en inglés) que tienen diversos gases, es decir, la medida en que éstos tienen impacto en el Efecto Invernadero que provoca el Cambio Climático (ver Anexo 1). Este potencial fue establecido utilizando como referencia para el análisis el dióxido de carbono, debido a que éste gas es el predominante en el Efecto Invernadero (INE, 2010).

Este Potencial de Calentamiento Global es un índice que describe las características radiactivas de los GEI mezclados de forma homogénea, y que representa el efecto combinado de los distintos períodos de permanencia de estos gases en la atmósfera y su relativa eficacia en cuanto a absorber radiación infrarroja saliente. También aproxima el efecto de calentamiento integrado en el tiempo de una masa unitaria de un determinado GEI en la atmósfera actual, en relación con la del dióxido de carbono (IPCC, 2001).

**Cuadro N°1.** Contribución de los gases al Efecto Invernadero.

| GEI              | Acción relativa | Contribución real (%) |
|------------------|-----------------|-----------------------|
| CO <sub>2</sub>  | 1 (referencia)  | 76                    |
| CFCs             | 15000           | 5                     |
| CH <sub>4</sub>  | 25              | 13                    |
| N <sub>2</sub> O | 230             | 6                     |

*Fuente: (Echarri, 2007)*

En la Industria del Petróleo las emisiones más significativas de los GEI son las de CO<sub>2</sub> y en menor medida de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, ya que estos gases se producen por combustión. Los HFC, PFC y el SF<sub>6</sub>, por su parte, no están tan estrechamente vinculados a la industria del petróleo como otros GEI (IPIECA, 2003).

Las emisiones de GEI en la industria petrolera pueden generarse de diversas fuentes, las cuales se pueden clasificar de la siguiente manera (IPIECA, 2003):

- Emisiones por combustión – incluye fuentes de combustión estáticas y móviles
- Emisiones provenientes de procesos
- Emisiones provenientes de fugas (fugitivas)

Las emisiones de fuentes estáticas incluyen las resultantes de la combustión de combustible en calderas, hornos, quemadores, calentadores y turbinas y motores estáticos, así como la combustión de desechos en incineradores y antorchas. Estas fuentes son de frecuencia altísima en la industria del petróleo y dan cuenta de la mayor parte de sus emisiones de GEI (IPIECA, 2003).

Las fuentes de combustión móviles incluyen la combustión de combustible en buques, barcazas, trenes, camiones, automóviles y aviones. Si bien estas fuentes también son de uso común en la industria del petróleo, sus emisiones son en general mucho más pequeñas que las de las fuentes de combustión estacionarias (IPIECA, 2003).

Las emisiones de GEI provenientes de procesos son las derivadas del procesamiento físico o químico de materiales. En la industria del petróleo, se trata en general de caudales de hidrocarburo líquido o gaseoso. La magnitud de las emisiones provenientes de procesos es muy variable. En el caso de algunas instalaciones de la industria del petróleo, estas emisiones pueden ser importantes (IPIECA, 2003). En el caso del Plantel El Alto, estas emisiones no se dan, debido a que este es un plantel de almacenamiento y distribución de productos derivados del petróleo, los cuales son procesados en la Refinería ubicada en la provincia de Limón.

Las emisiones provenientes de fugas se originan de fugas ocurridas en los equipos, por ejemplo, en sellos, juntas y válvulas. Estas emisiones se caracterizan por la liberación de compuestos orgánicos volátiles (hidrocarburos más pesados que el metano). En el contexto de las emisiones de GEI, las fuentes de fugas dentro de la industria son preocupantes debido sobre todo a la alta concentración de  $\text{CH}_4$  en muchos caudales de gases, además de la presencia de  $\text{CO}_2$  en algunos de ellos. Sin embargo, en relación con las emisiones provenientes de combustión y de procesos, las fugas de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  admitidas son insignificantes (IPIECA, 2003).

Para llevar un registro de todas estas emisiones lo que se utiliza es un instrumento conocido como Inventario de emisiones. La Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA por sus siglas en inglés) conceptualiza que un inventario de emisiones es un listado actualizado y amplio de las emisiones de contaminantes atmosféricos, por fuente, de un área geográfica específica durante un intervalo de tiempo determinando (Barnetche et al, 2006).

A su vez, es una herramienta básica para poder determinar las fuentes de los contaminantes en la atmósfera, establecer las tendencias de las emisiones atmosféricas y proveer información detallada que permiten fijar objetivos prácticos de reducción (Barnetche et al, 2006).

En los inventarios de emisiones de GEI se establecen alcances que catalogan las fuentes de emisiones en directas o indirectas. Las emisiones directas se refieren a las emisiones que provienen de los procesos internos de la empresa sobre los cuales se tiene control absoluto. Mientras que las indirectas son aquellas emisiones derivadas de la compra de servicios y sobre las cuales no se tiene ningún control (IPIECA, 2003).

Este instrumento ha sido utilizado por otras industrias petroleras a nivel internacional con el fin de cuantificar sus emisiones y proponer acciones para combatir el cambio climático. Tal es el caso de Petróleo Brasileiro S.A (Petrobras), que en el 2003 inicio un Proyecto de Sistema de Inventario de Emisiones cuyo objetivo fue el desarrollo de una herramienta de gestión aplicada a las emisiones atmosféricas (Barnetche et al, 2006).

Las emisiones que contabilizaron en el Inventario de emisiones fueron los GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) y varios contaminantes regulados. La selección de los gases la hicieron tomando en cuenta que estos desempeñan un papel en el calentamiento global del planeta y la salud pública. La cuantificación de las emisiones se basó en dos métodos principales de cálculo: balance de masas y aplicación de factores de emisión.

Asimismo, Petróleos Mexicanos (PEMEX) ha realizado diversas acciones para contrarrestar el fenómeno del Cambio Climático. Ya que PEMEX participa en el Programa Mexicano de Reporte de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, cuyo reporte del inventario se inició en el año 2001. Dentro de la metodología utilizaron la aplicación de factores de emisión y algoritmos propios.

PEMEX es consciente del impacto de las actividades de la industria en la modificación de los patrones climatológicos que están afectando al planeta. En el 2010 reportaron una emisión de 60,642 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> e. De las cuales aproximadamente el 98% de esas emisiones se originan en los procesos de combustión necesarios para la producción y transformación de hidrocarburos. Con ello, mantienen una serie de iniciativas tendientes a mitigar las emisiones de GEI

## METODOLOGÍA

Como se ha indicado, la presente investigación se realizó en el Plantel El Alto de RECOPE. El plantel está ubicado en la zona industrial de Ochomogo en la provincia de Cartago (ver Anexo 2). Cuenta con un área de 27,7 hectáreas.

Las fuentes a las cuales se le realizaron la cuantificación de las emisiones en el plantel fueron:

- Calderas
- Montacargas
- Equipo móvil: máquinas de soldar e hidrolavadoras
- Equipo estático: motobombas, motores de diesel y gasolina
- Flotilla vehicular y equipo especial del plantel
- Consumo eléctrico

La identificación de estas fuentes se hizo en base a los equipos y actividades que emplean combustibles en el plantel y sobre los cuales se tuviera registro de ese consumo.

Los GEI cuantificados correspondieron a:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- Metano (CH<sub>4</sub>)
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)

La cuantificación de las emisiones se hizo utilizando la herramienta de cálculo de Excel, mediante la elaboración de una matriz donde se estableció los datos necesarios para la estimación de las emisiones.

**Cuadro N°2.** Clasificación de las fuentes de emisión del Plantel EL Alto, RECOPE.

| Tipo de emisión | Fuente de emisión                    | Clasificación                     |
|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Directa         | Calderas                             | Emisiones por combustión estática |
|                 | Equipo Estático                      | Emisiones por combustión estática |
|                 | Montacargas                          | Emisiones por combustión móvil    |
|                 | Equipo Móvil                         | Emisiones por combustión móvil    |
|                 | Flotilla vehicular y Equipo Especial | Emisiones por combustión móvil    |
| Indirecta       | Consumo eléctrico                    | Emisiones por combustión estática |

La estimación de las emisiones se hizo haciendo uso de la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) según las Directrices del 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, la cual se basa en el uso de factores de emisión<sup>1</sup>. Esta cuantificación es indirecta debido a que la contabilización de las emisiones se realizó mediante la recopilación de datos sobre consumo de sustancias generadoras de GEI.

### **A. Fuentes de combustión estacionaria.**

Para la estimación de las emisiones de GEI de la combustión estacionaria, se utilizaron datos de consumo en litros de bunker en la caldera, el consumo de diesel y gasolina en las motobombas y el consumo de diesel que se da en el área de bombeo.

En el caso del consumo eléctrico, en nuestro país ésta se produce mediante cuatro formas: eólica, hidráulica, biomasa y biogás, geotérmica y térmica, de las cuales las cuatro primeras son energías renovables mientras que la térmica no. Esta última se caracteriza por utilizar bunker y/o diesel para su funcionamiento, lo que ocasiona emisiones de GEI.

<sup>1</sup> Los Factores de emisión son cocientes que relacionan las emisiones de GEI a una medida de actividad en una fuente de emisión, los cuales se representan en unidades específicas para cada uno.



Es por ello que al consumir energía eléctrica se está produciendo emisiones de GEI pero en forma indirecta, es decir, se están generando en fuentes sobre las que no se tiene ningún control, ya que esta es administrada por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Para determinar la cantidad de esta fuente de emisión se utilizaron los registros de consumo eléctrico (kWh). Pero a estos datos fue necesario aplicarles un factor de corrección, esto puesto que es solo la energía térmica la que produce emisiones. Para el año 2010, del total de generación de energía, solo el 6,76% fue mediante la fuente térmica (Anexo 3). Utilizando la siguiente distribución de combustible:

**Cuadro N° 3.** Distribución de la generación térmica para el año 2010.

| <b>Combustible</b> | <b>Contribución porcentual (%)</b> |
|--------------------|------------------------------------|
| Bunker             | 0,86                               |
| Diesel             | 5,90                               |
| Total              | 6,76                               |

*Fuente: ARESEP*

El método utilizado para estas fuentes fue el del IPCC, 2006. Volumen dos, Capítulo dos, Nivel 1.

## **B. Fuentes de combustión móviles.**

Para la estimación de las emisiones generadas por la flotilla vehicular, se utilizó el Sistema Integrado de Transporte con que cuenta el departamento de mantenimiento del plantel; donde se lleva el control de los registros de facturas en litros de compra de combustible (diesel o gasolina) por placa de vehículo. Mientras que para el Equipo Especial, se tomaron los datos de consumo en los registros del Departamento de Transporte. El montacargas hace uso de dos combustibles, gasolina y GLP (gas licuado de petróleo), los registros fueron brindados por el Departamento del Almacén.

El método utilizado para la estimación de las emisiones producto de la combustión móvil correspondió a el del IPCC, 2006. Volumen dos, Capítulo tres, Nivel 1.

Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> en toneladas (t) provenientes de la combustión de combustibles, se utilizó la siguiente fórmula:

**Fórmula 1:**

$$E_{CO_2} = A * FE$$

Donde:

E<sub>CO<sub>2</sub></sub>= emisiones CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>/año)

A= datos de actividad (litros/año; kWh/año)

FE= factor de emisión (t CO<sub>2</sub>/litro; t CO<sub>2</sub>/kWh)

Para el caso de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, es necesario el valor del PCG, el cual convierte el valor de emisión del gas a CO<sub>2</sub> equivalente<sup>2</sup>. Para CH<sub>4</sub> se utilizó el valor de 21 y para N<sub>2</sub>O el valor de 310. La fórmula utilizada fue la siguiente:

**Fórmula 2:**

$$E_{CO_2e} = A * FE * PCG$$

Donde:

E<sub>CO<sub>2</sub>e</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente (t CO<sub>2</sub>/año)

PCG= potencial de calentamiento global

<sup>2</sup> CO<sub>2</sub> equivalente es la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> que causarían el mismo forzamiento radiactivo que la cantidad emitida de un gas de efecto invernadero bien mezclado, todo multiplicado con sus respectivos PCG para tener en cuenta los diferentes tiempos de permanencia en la atmósfera. (IPCC, 2007)

Los factores de emisión utilizados para los diferentes combustibles fueron tomados de las directrices del IPCC, 2006. Los utilizados corresponden a los siguientes:

**Cuadro N° 4.** Factores de emisión de referencia de diversos tipos de combustible.

| Tipo de combustible | Factor de emisión por gas (kg/TJ) |                 |                  |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------|
|                     | CO <sub>2</sub>                   | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |
| Bunker              | 77400                             | 3               | 0,6              |
| Diesel              | 74100                             | 10              | 0,6              |
| Gasolina            | 69300                             | 10              | 0,6              |
| Gas LP              | 63100                             | 5               | 0,1              |

*Fuente: Directrices del IPCC, 2006*

La conversión de los factores de emisión, de unidades de energía (kg/TJ) a unidades de volumen (t/litros), unidad en que están los valores de consumo de combustibles, se hizo en base a las densidades y poderes calóricos de los diferentes tipos de combustibles (ver Anexo 4). Para el consumo eléctrico, se utilizó el factor de 3,60TJ/GWh<sup>3</sup> para la conversión del factor de emisión a t/kWh.

### C. Compensación de emisiones.

La determinación de la cantidad de carbono que puede capturar la biomasa forestal, constituida esta por las ramas, hojas, troncos y raíces de los árboles; se puede llevar a cabo mediante plantaciones forestales y bosques naturales, los cuales son fijadores de carbono.

Para poder estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> que puede remover una plantación forestal, se debe tomar en cuenta que la tasa anual de fijación de carbono está relacionada directamente con las especies de árboles y su crecimiento. La estimación de fijación que puede tener una especie se hizo utilizando la guía “Orientación sobre las buenas practicas para el uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura” del “IPCC”.

<sup>3</sup> Equivalencia energética tomada del Balance Energético Nacional, 2009

La determinación de la capacidad de remoción de CO<sub>2</sub> dependiendo de la especie, se hizo en base a la siguiente fórmula:

**Fórmula 3:**

$$R_{CO_2} = [ ( IMA * D * FEB ) * ( 1 + R ) * FC * X ]$$

Donde:

R<sub>CO<sub>2</sub></sub>: Remoción de CO<sub>2</sub> (t/ha)

IMA: incremento medio anual (m<sup>3</sup>/ha/año)

D: densidad de la madera (t/m<sup>3</sup>)

FEB: factor de expansión de biomasa, 1,5 (Sin dimensión. IPCC, 2003)

R: relación raíz/parte aérea, 0,24 (Sin dimensión. IPCC, 2003)

FC: fracción de carbono, 0,5 (Sin dimensión. IPCC, 2003)

X: factor de conversión de C a CO<sub>2</sub> (44/12=3.67)

La metodología para la selección de las especies, se realizó de acuerdo a las recomendaciones hechas por el Ing. Lesmes Chaves, de la Unidad Ambiental de RECOPE. Donde los valores utilizados en la fórmula 3, se muestran en el cuadro N°5.

**Cuadro N° 5.** Valores a utilizar para estimar la capacidad de almacenamiento de carbono por especie.

| Especie arbórea |                         | IMA (m <sup>3</sup> /ha/año) | D (t/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup> |
|-----------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| Nombre común    | Nombre científico       |                              |                                    |
| Surá            | Terminalia oblonga      | 11,00 <sup>2</sup>           | 0,51                               |
| Botarrama       | Vochysia ferruginea     | 9,00 <sup>3</sup>            | 0,47                               |
| Almendro        | Dipteryx panamensis     | 7,90 <sup>4</sup>            | 0,81                               |
| Cebo            | Vochysia guatemalensis  | 23,51 <sup>4</sup>           | 0,40                               |
| Pilón           | Hyeronima alchorneoides | 10,21 <sup>4</sup>           | 0,60                               |

Fuente: <sup>1</sup> (IPCC, 2003), <sup>2</sup> (Montero & Kanninen, n.d), <sup>3</sup> (Delgado et al, 2003), <sup>4</sup> (Piotto, 2001).

Luego se procedió a estimar la cantidad de emisiones que pueden ser fijadas en un área de terreno de acuerdo a la capacidad de remoción de CO<sub>2</sub> que tiene la especie, esto mediante la siguiente fórmula:

**Fórmula 4:**

$$ET_{CO_2e} = A * R_{CO_2}$$

Donde:

A: área a reforestar (ha)

EF<sub>CO<sub>2</sub>e</sub>: emisiones totales fijadas (t/año)

R<sub>CO<sub>2</sub></sub>: remoción de CO<sub>2</sub> (t/ha/año)

## CAPÍTULO 1

### **Inventario de emisiones de GEI del Plantel El Alto, RECOPE.**

La actividad que realiza RECOPE como empresa forma parte del sector energético de Costa Rica, sector que aporta la mayor cantidad de emisiones de GEI hacia la atmósfera, según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero realizado para el año 2005 (ver Anexo 5).

Esto se debe principalmente a que, en los procesos que realiza la empresa, se consumen grandes cantidades de combustibles fósiles para que estos se puedan llevar a cabo. Siendo este uno de los principales causantes del calentamiento global.

En el Plantel El Alto, las emisiones son generadas principalmente por los procesos de combustión, debidos al consumo de combustibles fósiles en diferentes actividades, las cuales constituyen las fuentes emisoras del plantel.

#### **1.1 Emisiones por combustión móvil.**

##### **1.1.1 Flotilla Vehicular y Equipo Especial.**

La flotilla vehicular la constituyen los vehículos asignados a los diversos departamentos con que se estructura organizacionalmente el plantel. Se contabilizaron un total de 41 vehículos, de los cuales 26 hacen uso del combustible tipo diesel y 15 utilizan el combustible tipo gasolina. Estos vehículos están distribuidos de manera no uniforme en los siguientes departamentos: Gerencia de Distribución y Ventas, Seguridad Industrial y Ambiente, Departamento Trasiego de Combustible, Plantel de Distribución Central, Dirección de Comercio y Servicio al Cliente, Departamento de Facturación, Dirección de Servicios Operativos y de Apoyo, Departamento de Mantenimiento, Departamento de Instrumentación y Departamento de El Almacén.



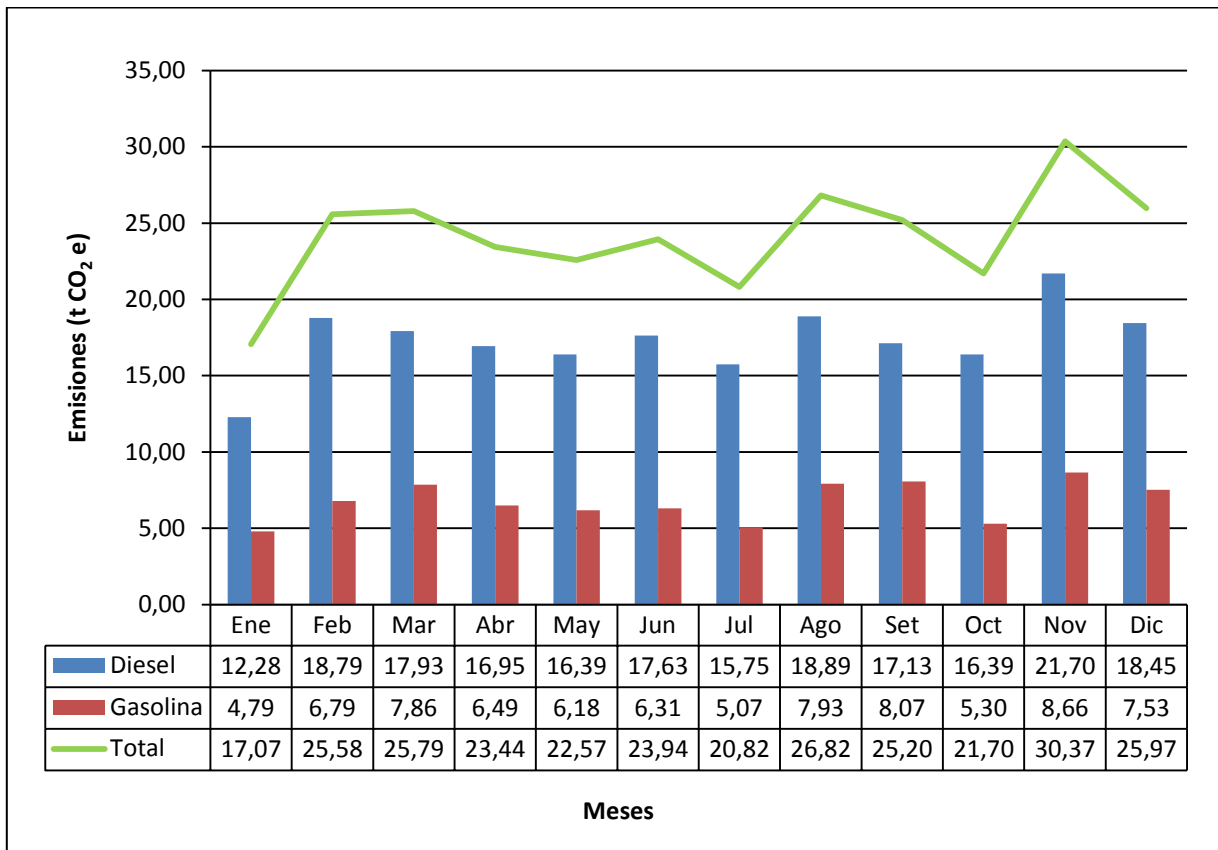
**Figura N°2.** Flotilla vehicular del Plantel El Alto, RECOPE.

Para el equipo especial, este hace referencia al consumo de combustible del equipo pesado, maquinaria y otros equipos con que cuenta la empresa para la realización de diversas labores propias de la actividad del plantel. La maquinaria analizada fue de 13 equipos, de los cuales 8 hacen uso del combustible tipo diesel y 5 usan el combustible tipo gasolina.



**Figura N°3.** Equipo especial del Plantel El Alto, RECOPE.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente generadas por la Flotilla Vehicular y Equipo Especial se muestran en el gráfico N°5.



**Gráfico N°5.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente procedente de la Flotilla Vehicular y el Equipo Especial, durante el periodo 2010.

En el gráfico N°5 se observa que el combustible diesel presentó una cantidad de emisión mayor en relación con el combustible gasolina durante todos los meses del año 2010, en promedio por mes el 72,13% corresponde a emisiones producto de la combustión de diesel mientras que el 27, 87% corresponde a emisiones de la combustión de gasolina. Esto se debe a que la cantidad de vehículos y equipos que consumen combustible diesel es mayor en comparación con la gasolina (34 vehículos diesel, 20 vehículos gasolina).



Las emisiones debidas al consumo de gasolina y al diesel por la flotilla vehicular y el equipo especial muestran una leve constancia durante los 12 meses del año. Esto se debe a que cada departamento que tiene asignados vehículos en el plantel cuenta con un presupuesto establecido por mes por el Departamento de Bienes y Servicios, el cual se basa en la cantidad de vehículos y las necesidades de servicios o demanda de trabajo. Pero este presupuesto no indica que se gasta proporcionalmente todos los meses, sino que varía de acuerdo a la demanda de cada departamento. Es por tal razón que el mes de noviembre presenta la mayor generación de emisiones en al año, mientras que enero es el más bajo, ya que el uso vehicular fue menor.

El cuadro N°6 muestra el total de emisiones correspondientes a la flotilla vehicular y el equipo pesado por tipo de combustible.

**Cuadro N°6.** Emisiones totales de CO<sub>2</sub> equivalente procedente de la Flotilla Vehicular y el Equipo Especial del Plantel El Alto, en el año 2010.

| <b>Combustible</b> | <b>Emisiones (t CO<sub>2</sub> e)</b> |
|--------------------|---------------------------------------|
| Diesel             | 208,70                                |
| Gasolina           | 80,98                                 |
| <b>Total</b>       | <b>289,27</b>                         |

Es importante tomar en cuenta que el factor de emisión del combustible diesel para el gas CO<sub>2</sub> es mayor que para la gasolina, esto implica que se den emisiones mayores en la combustión del diesel.

### **1.1.2 Montacargas.**

El montacargas pertenece a la dependencia de El Almacén, el cual es utilizado por los funcionarios para el acomodo de mercadería. Puede funcionar con dos tipos de combustible, GLP y gasolina.

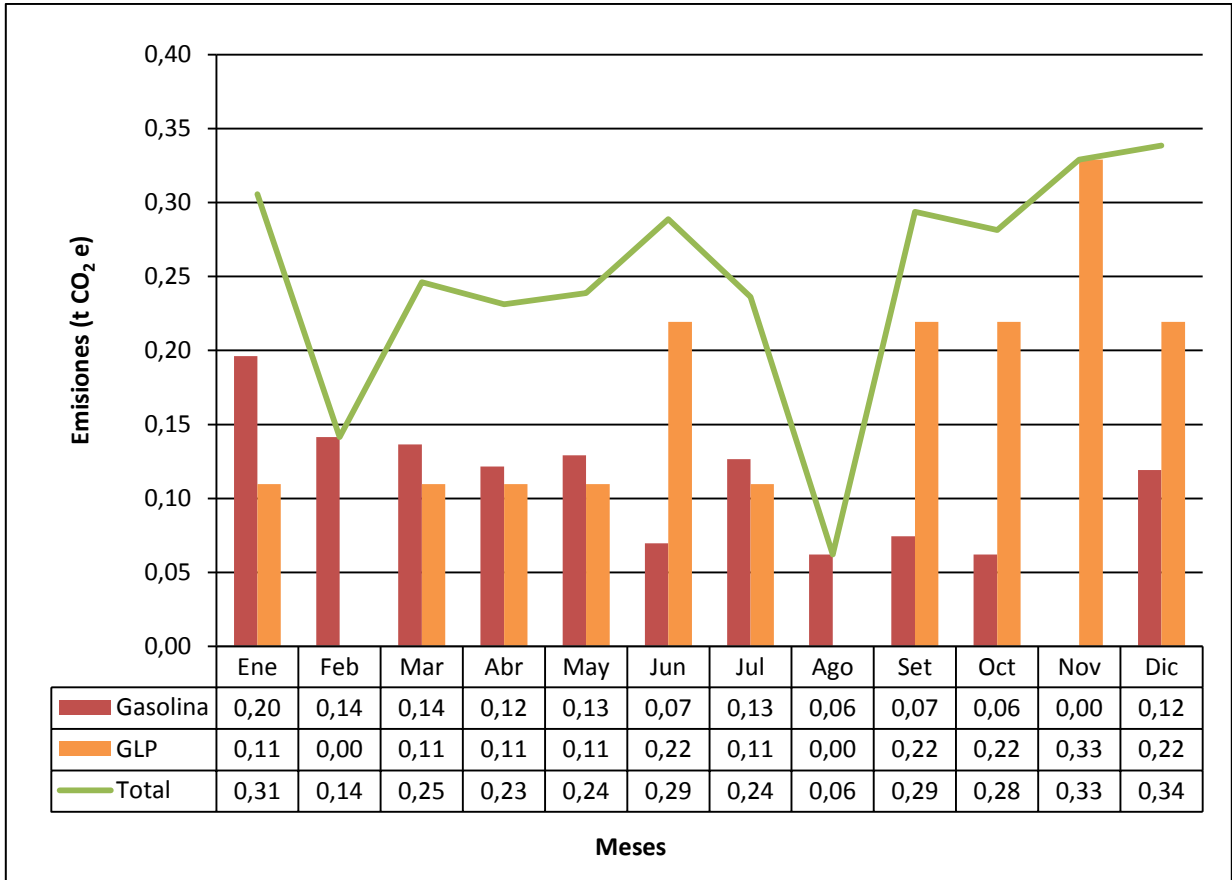
En áreas abiertas se utiliza la gasolina como combustible. Mientras que en áreas cerradas se hace uso del GLP, que se caracteriza por ser un combustible limpio, con un contenido de azufre muy bajo (varía de acuerdo a la calidad del petróleo refinado), el cual es completamente combustionado lo que evita la generación de emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

Esto permite al GLP producir una baja emisión de los gases de escape y una combustión baja en contaminantes atmosféricos en comparación con los combustibles líquidos. Evitando por lo tanto la acumulación en las oficinas y paredes, de humos y partículas ocasionados por el otro combustible.



**Figura N°4.** Montacargas del almacén del Plantel El Alto, RECOPE.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente generadas por el uso del montacargas se muestran en el gráfico N°6.



**Gráfico N°6.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente procedentes del consumo de combustibles del Montacargas, durante el período 2010.

En el gráfico N°6 se muestra como varían las emisiones por mes y tipo de combustible en el año 2010. Estas fluctuaciones en las emisiones se deben a que el consumo de combustible GLP y gasolina para el montacargas es variado, ya que depende de la demanda de trabajo que se tenga. Este varía mensualmente de acuerdo a las necesidades de materiales que tenga el departamento y a la entrega de mercadería que se haga por parte de los proveedores. Además, en ciertos meses se presenta que no haya consumo de alguno de los combustibles, porque en ocasiones no hay necesidades de trabajo de acomodo de mercadería, lo cual sucedió en los meses de febrero y agosto.

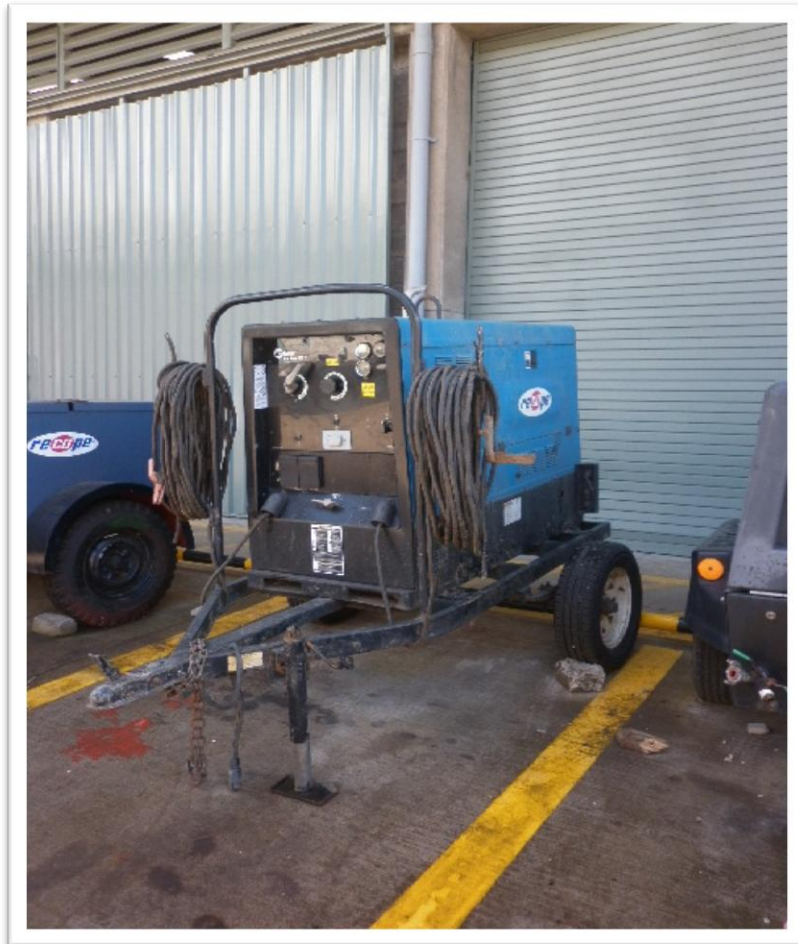
**Cuadro N°7.** Emisiones totales de CO<sub>2</sub> equivalente procedente del consumo de combustibles para el Montacargas, en el año 2010.

| Combustible  | Emisiones (t CO <sub>2</sub> e) |
|--------------|---------------------------------|
| GLP          | 1,75                            |
| Gasolina     | 1,24                            |
| <b>Total</b> | <b>2,99</b>                     |

A pesar de que el factor de emisión de la gasolina es mayor para el CO<sub>2</sub> que para el GLP. Eso no implica que se den emisiones mayores por la combustión de gasolina, ya que el consumo de GLP en comparación con la gasolina es mayor por lo que las emisiones del primer combustible son más grandes que las del segundo.

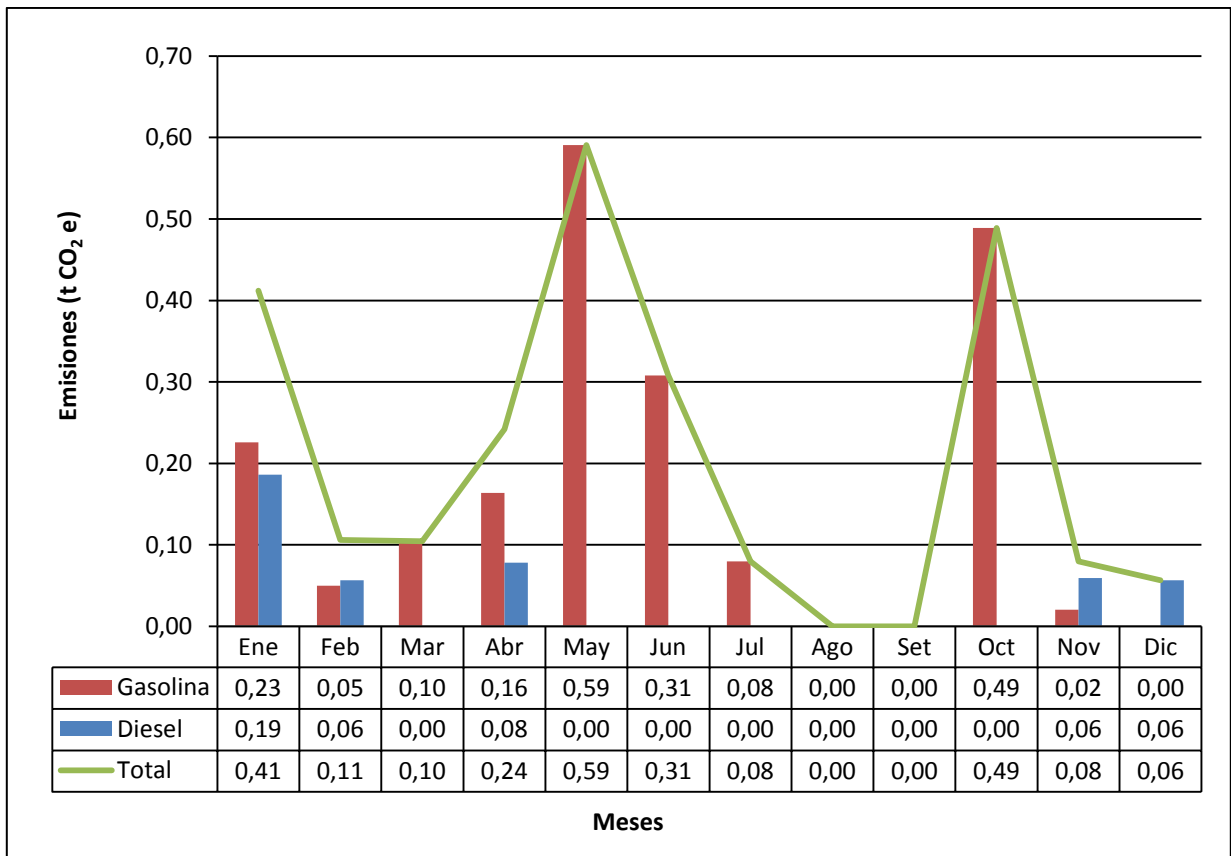
### 1.1.3 Equipo Móvil.

Esta fuente de emisión, Equipo Móvil, incorpora a las máquinas de soldar y las hidrolavadoras que se caracterizan por ser de combustión interna, requiriendo así el uso de combustibles para su funcionamiento. El plantel cuenta con 6 máquinas de soldar donde unas utilizan el diesel y otras la gasolina como combustible. Estos equipos son utilizados en labores de mantenimiento del oleoducto, donde en ocasiones se requiere el traslado del equipo al lugar de trabajo. Mientras que las hidrolavadoras son utilizadas para labores de limpieza, las cuales usan el combustible gasolina para su funcionamiento.



**Figura N°5.** Máquina de soldar del Plantel El Alto, RECOPE.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente provenientes del Equipo Móvil se detallan en el gráfico N°6.



**Gráfico N°7.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente procedente del uso de combustible del Equipo Móvil, durante el período 2010.

El gráfico N°7 presenta las emisiones provenientes del consumo de combustibles de la fuente Equipo Móvil. En esta se observa como varían las emisiones en los meses del año 2010, e incluso hay meses donde no hay consumo de combustible (agosto, setiembre) por lo que no hay datos de emisiones.

Estas variaciones tan desiguales de un mes a otro, son debidas principalmente a que los periodos de uso de este tipo de equipos dependen de las necesidades de trabajo y los periodos de mantenimiento de la empresa, ya sea trabajos en el oleoducto o proyectos de mantenimiento establecidos por temporadas. Es por tal razón que el mes de mayo fue el que tuvo mayores emisiones ya que hubo la mayor demanda de trabajo del año en estudio.

**Cuadro N°8.** Emisiones totales de CO<sub>2</sub> equivalente procedente del uso de combustibles para el Equipo Móvil, en el año 2010.

| Combustible  | Emisiones (t CO <sub>2</sub> e) |
|--------------|---------------------------------|
| Diesel       | 0,44                            |
| Gasolina     | 2,03                            |
| <b>Total</b> | <b>2,47</b>                     |

La mayor cantidad de consumo de combustible del año 2010 fue de gasolina, ya que se utilizaron en mayor cuantía los equipos que hacen uso de este tipo de combustible, mientras que en menor medida fueron utilizados los equipos que funcionan a base de diesel. Por lo que el mayor aporte a las emisiones totales para el año 2010 se debieron a las provenientes de la combustión de gasolina.

## 1.2 Emisiones por combustión estacionaria.

### 1.2.1 Equipo Estático.

Estas emisiones provienen de los motores utilizados para el Trasiego de combustible y el Sistema contra Incendios. En total suman cuatro motores, cuyas características se muestran en el cuadro N°9.

**Cuadro N°9.** Equipos estáticos de combustión del Plantel El Alto, RECOPE.

| Equipo         | Marca       | Dependencia         |
|----------------|-------------|---------------------|
| Motor Diesel   | DETROIT     | Bombeo Oleoducto    |
| Motor Diesel   | CATERPILLAR | Protección Integral |
| Motor Diesel   | DETROIT     | Protección Integral |
| Motor Gasolina | CHRYSLER    | Protección Integral |

*Fuente: Unidad Ambiental RECOPE*



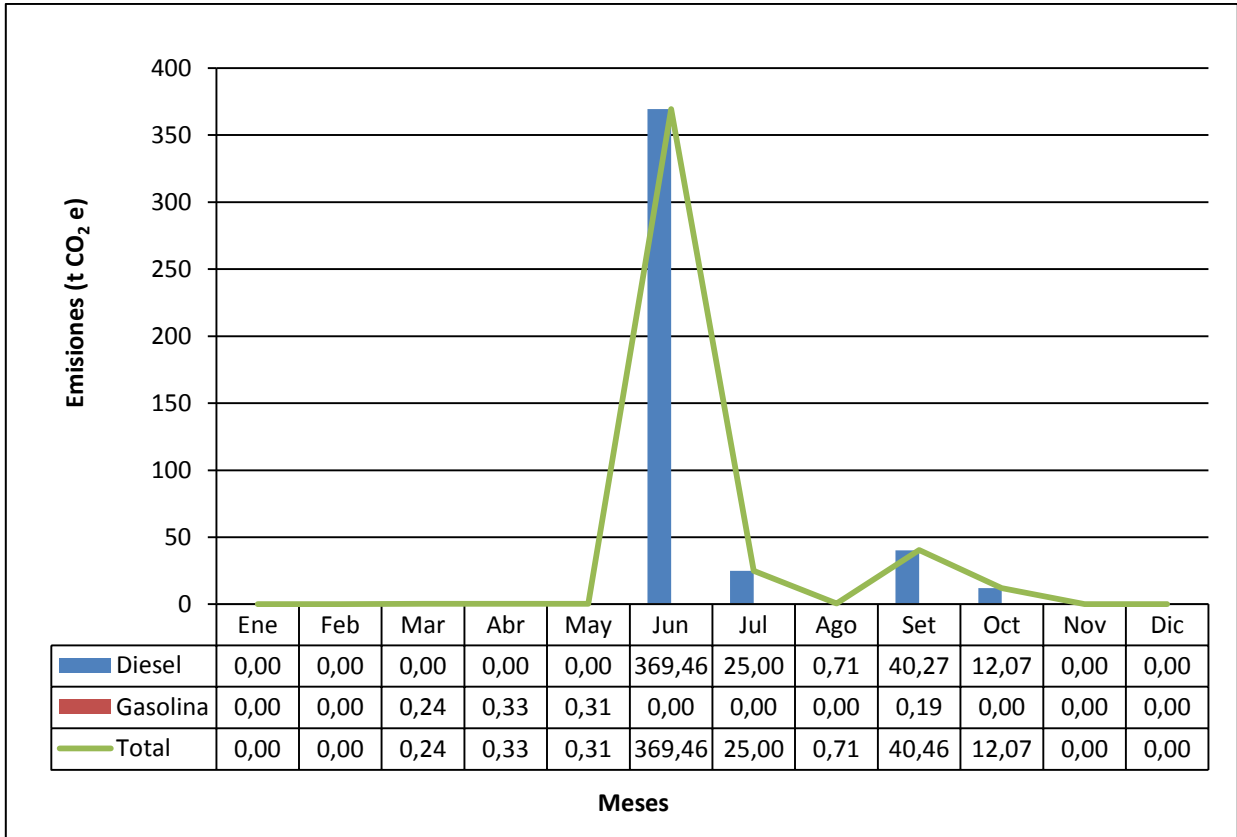
**Figura N°6.** Motor MP-3 del área de bombeo del Plantel El Alto, RECOPE.





**Figura N°7.** Motor del Sistema contra Incendios del Plantel El Alto, RECOPE.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente generadas por el Equipo Estático se presentan en el gráfico N°8.



**Gráfico N°8.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente procedente del uso de combustible del Equipo Estacionario, durante el período 2010.

Como se observa en el gráfico N°8, las emisiones provenientes de esta fuente no se generan todos los meses del año. Esto sucede debido a que, para el caso de las motobombas que forman parte del Sistema contra Incendios, el consumo de combustible se da únicamente para pruebas de funcionamiento de los motores que se realizan una vez por semana durante 30 minutos aproximadamente, con el fin de evitar el deterioro. El consumo que se da es mínimo por lo que el abastecimiento de combustible a los motores varía de acuerdo al nivel que tenga el tanque del motor. Por otro lado, no ocurrió ninguna emergencia durante el año 2010 que requiriera más consumo de combustible para estos motores.

Mientras que el motor del área de bombeo, se utiliza principalmente para suministrar combustible al ICE o cuando se tenga una necesidad interna por parte de RECOPE. En el año 2010, durante el mes de junio se requirió el trasiego de combustible solicitado por el ICE, el cual generalmente requiere de consumo en época de verano. Por lo que estuvo en funcionamiento el motor Detroit perteneciente al Oleoducto. Es por tal razón que el mes de junio, es el punto con mayor emisión dentro de los meses donde hay emisiones por esta fuente.

**Cuadro N°10.** Emisiones totales de CO<sub>2</sub> equivalente procedente del uso de combustibles para el Equipo Estático, en el año 2010.

| <b>Combustible</b> | <b>Emisiones (t CO<sub>2</sub> e)</b> |
|--------------------|---------------------------------------|
| Diesel             | 447,52                                |
| Gasolina           | 1,07                                  |
| <b>Total</b>       | <b>448,59</b>                         |

El cuadro N°10 muestra que el mayor aporte de emisiones a esta fuente se da por el consumo del combustible diesel, ya que la cantidad de motores que hacen uso de este combustible es mayor (cuadro N°9). Aunado a esto, el motor ubicado en el área de bombeo con código MP-3, es el que mayor consume combustible dentro de ésta fuente debido a que es de mayor capacidad y por la función que cumple en el Departamento de trasiego de combustible.

### **1.2.2 Caldera.**

El plantel cuenta con una Planta de Emulsión Asfáltica, la cual tiene como objetivo suministrar emulsión asfáltica, y/o asfalto, para toda el área metropolitana. Las emulsiones asfálticas están constituidas por una dispersión muy fina de asfalto en agua estabilizada por la acción de un emulsificante que se procesa a través de un molino coloidal.

Esta emulsión es utilizada para lograr que el asfalto presente sus propiedades adherentes a las carreteras o caminos que se desean pavimentar. La emulsión asfáltica que se prepara en el plantel se caracteriza por ser catiónica de rotura rápida.

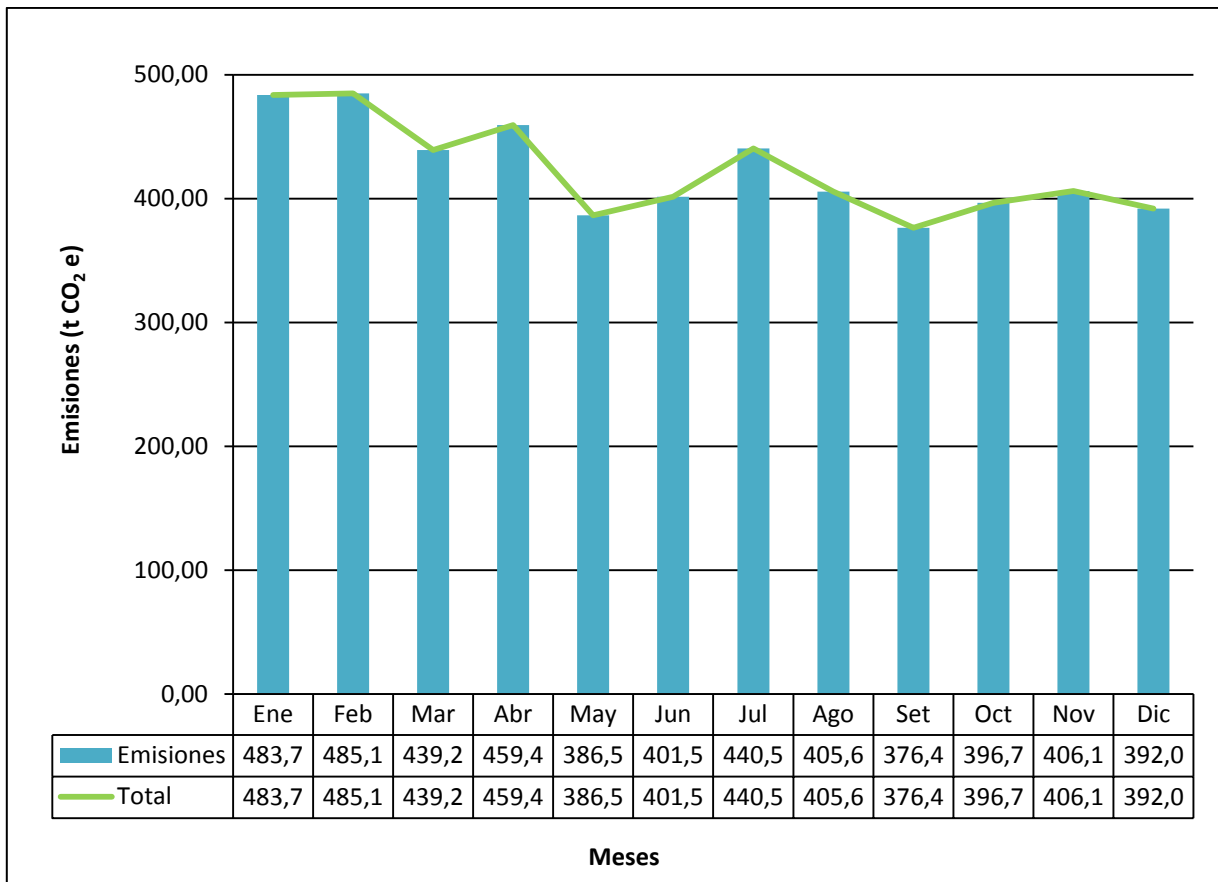


**Figura N°8.** Planta de Emulsión Asfáltica del Plantel El Alto, RECOPE.

El departamento de producto negro del Plantel El Alto, cuenta con los productos de emulsión asfáltica, asfalto y bunker (fuel oil). Debido a sus propiedades estos tipos de combustibles requieren de una fuente de calor externa para mantener la temperatura adecuado de los mismos. Esto se logra mediante la utilización de vapor que es generado por el Sistema de Vapor, el cual está conformado por las calderas UB-414, UB-413 y UB-415.

El vapor generado se distribuye mediante serpentines en los tanques que almacenan asfalto, emulsión asfáltica y bunker, este último es el combustible que alimenta a las calderas para la producción de vapor. El Sistema de vapor se caracteriza por recuperar parte de los condensados que se retornan para realimentar a la caldera.

Esta área opera las 24 horas del día, los 365 días del año. Esto debido a que el suministro de vapor debe ser constante a estos tanques. Es por tal razón que en el año 2010 las calderas consumieron un total de 1.623.900 litros de bunker. Las emisiones generadas se muestran en el gráfico N°9.



**Gráfico N°9.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente procedente del consumo de bunker en la Planta de calderas, durante el periodo 2010.

El gráfico N°9 muestra las emisiones emitidas a la atmósfera durante los meses del año en estudio debidas al consumo de bunker de las calderas. La variación de las emisiones entre los meses es relativamente poca, lo cual es debido a las necesidades de vapor que se tenga durante los distintos periodos en el año. En total, esta fuente emitió 5.073,27 t CO<sub>2</sub> e durante el 2010.

En los meses de enero y febrero, los cuales tuvieron los puntos más altos en emisiones, hubo mayor almacenamiento de productos en los tanques lo que implica un mayor consumo de vapor, por lo que el consumo de bunker aumenta y como consiguiente las emisiones. Por el contrario, el mes de setiembre fue el que tuvo menores emisiones a la atmósfera ya que el vapor requerido fue menor en comparación con los otros meses del año.

En promedio se consumen  $150 \text{ m}^3$  de bunker mensual para generar 5.000 lb/h de vapor. Sin embargo, esta producción puede verse afecta por otro factor, la lluvia. En época lluviosa se dan más pérdidas de vapor porque este se condensa más rápido, lo que implica que el consumo aumente provocando que las emisiones varíen por lapsos en el año evidenciando así esa fluctuación en el gráfico.

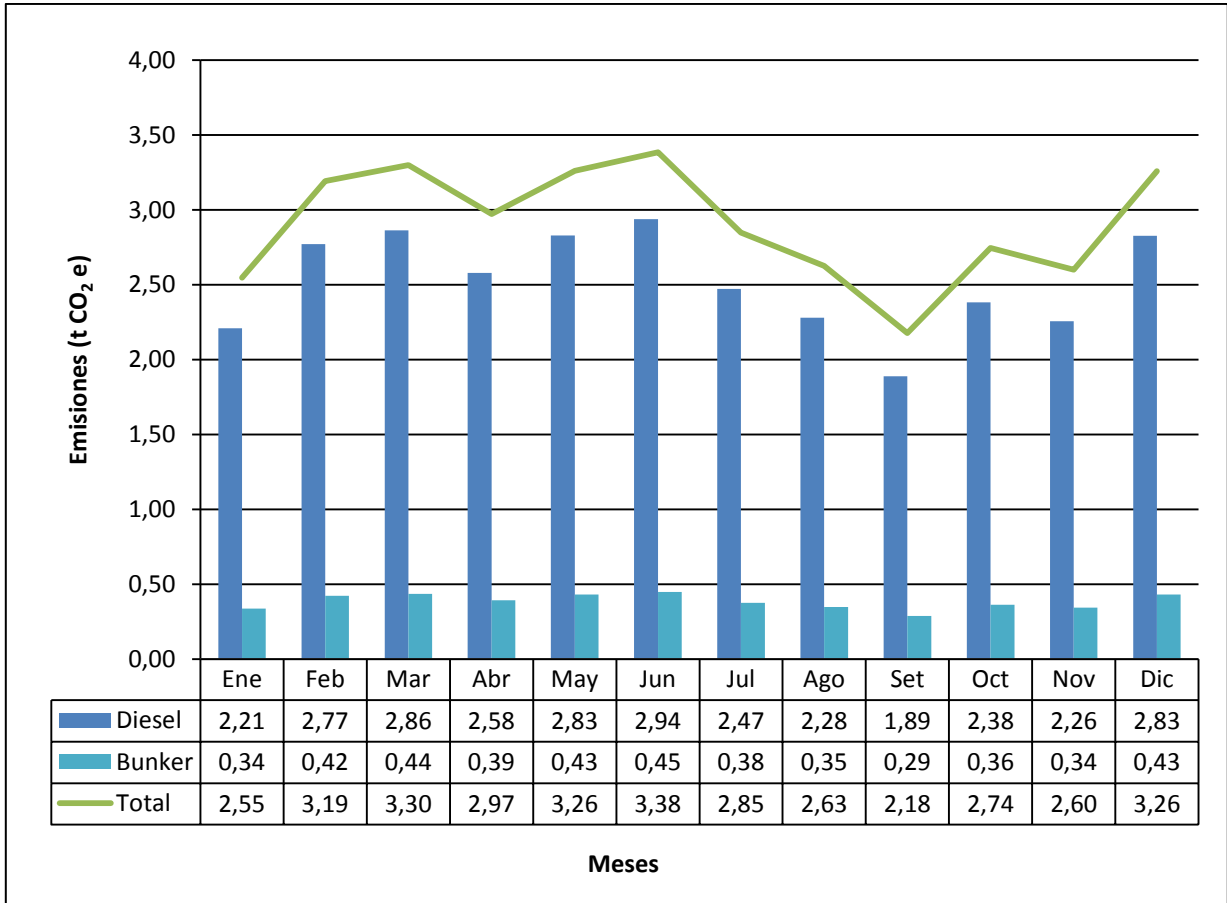
### **1.2.3 Electricidad.**

El suministro eléctrico del plantel lo brindan el ICE y JASEC (Junta de Administración de Servicios Eléctricos de Cartago). El ICE suministra la mayor capacidad eléctrica al plantel mediante la contabilización de un medidor (Medidor #1055458), mientras que JASEC suministra en menor medida la electricidad al plantel mediante la contabilización en dos medidores (Medidor #200202 y #200442). El consumo eléctrico en el plantel es debido a dos fuentes: la administrativa que incluye las áreas de oficinas; y la operativa que incluye desde motores, bombas y equipos eléctricos para el manejo del combustible.



**Figura N°9.** Área de cargaderos de combustible del Plantel El Alto.

Las emisiones debidas al consumo eléctrico estimadas en base al porcentaje de energía térmica generado a nivel nacional se muestran en el gráfico N°9.



**Gráfico N°10.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente procedente del consumo eléctrico del plantel, durante el periodo 2010.

El gráfico N°10 muestra una tendencia variable en los valores de emisiones, las cuales son producto del consumo eléctrico que se da dentro del plantel. Sin embargo, esa tendencia de variación no supera las 0,7 t de CO<sub>2</sub> e de un mes al otro. Esa pequeña variación entre los meses es debida a las variaciones del consumo eléctrico de los diversos aparatos que requieren de la electricidad para su funcionamiento, los cuales no mantienen un consumo constante.



Asimismo, este consumo se ve interferido por la demanda de abastecimiento de combustible que tenga el país, ya que las bombas y motores eléctricos trabajarían más tiempo si este es mayor. Esto produce que el mes de junio, sea el punto mayor dentro de esta fuente, mientras que setiembre, el de menor emisión puesto que la demanda fue baja en comparación con los otros meses.

Además, durante el año 2010, se llevo a cabo la construcción de edificios administrativos en el plantel y un tanque de almacenamiento de diesel, al mismo tiempo de labores de limpieza de tanques los cuales interfirieron en la tendencia que presenta el gráfico N°9.

**Cuadro N°11.** Emisiones totales de CO<sub>2</sub> equivalente procedente del consumo eléctrico del plantel, en el año 2010.

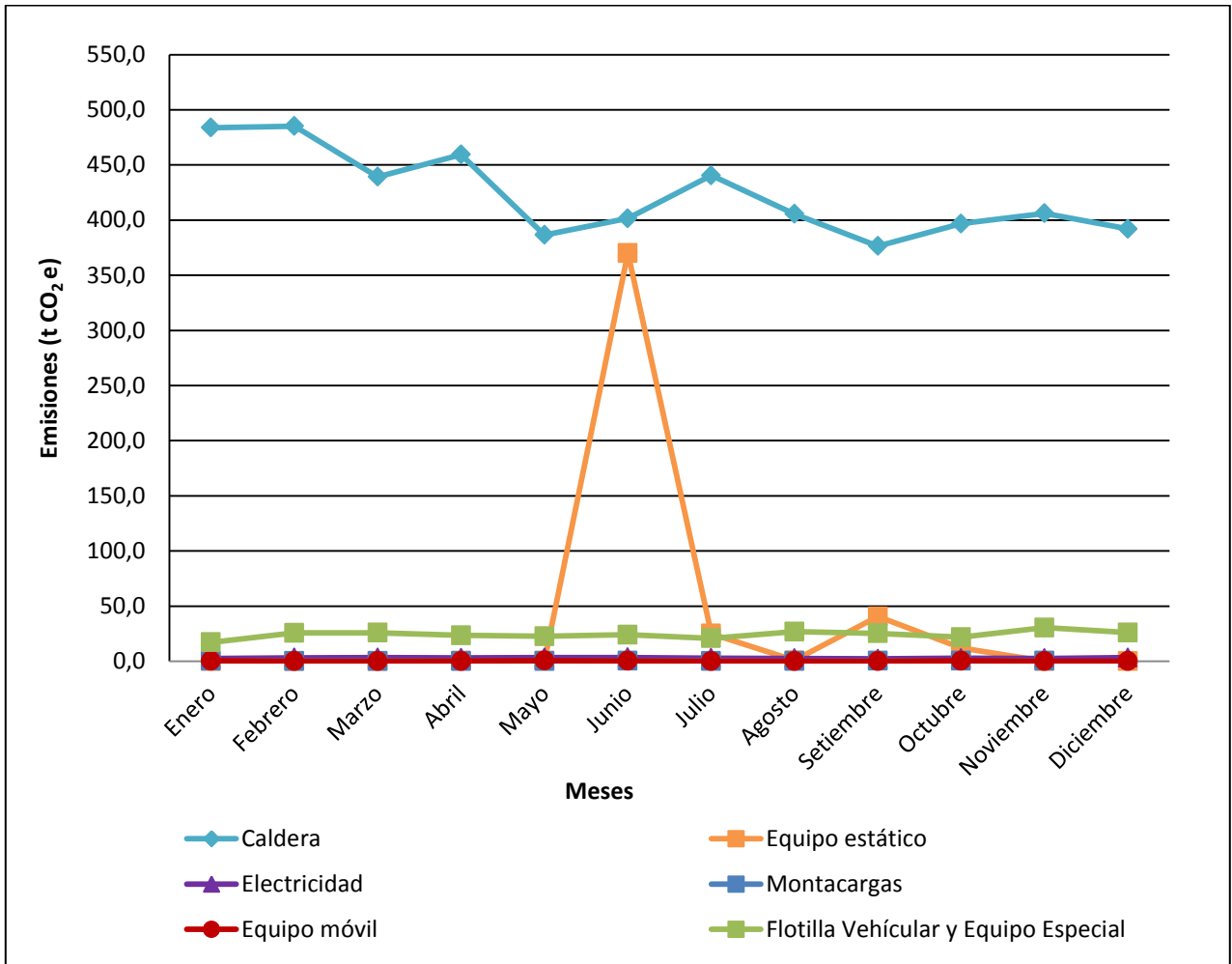
| Combustible  | Emisiones (t CO <sub>2</sub> e) |
|--------------|---------------------------------|
| Diesel       | 30,29                           |
| Bunker       | 4,61                            |
| <b>Total</b> | <b>34,91</b>                    |

Las emisiones son mayores a partir del combustible diesel que las del combustible bunker, ya que el porcentaje de uso de combustible para generar energía térmica es mayor con diesel que con bunker, es por tal razón que el aporte del diesel es mayor.

### 1.3 Emisiones totales emitidas por el Plantel El Alto.

Hasta este momento se ha analizado en forma particular las fuentes de emisiones identificadas para el plantel, y con base en los resultados obtenidos. Se detalla a continuación la relación de las emisiones de cada fuente y como influye cada una en el total de las emisiones emitidas por el Plantel El Alto.

El gráfico N°11 resume las fuentes de emisión contabilizadas en el inventario de emisiones del plantel y su aporte en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.



**Gráfico N°11.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por fuente causadas por el Plantel El Alto, durante el período 2010.

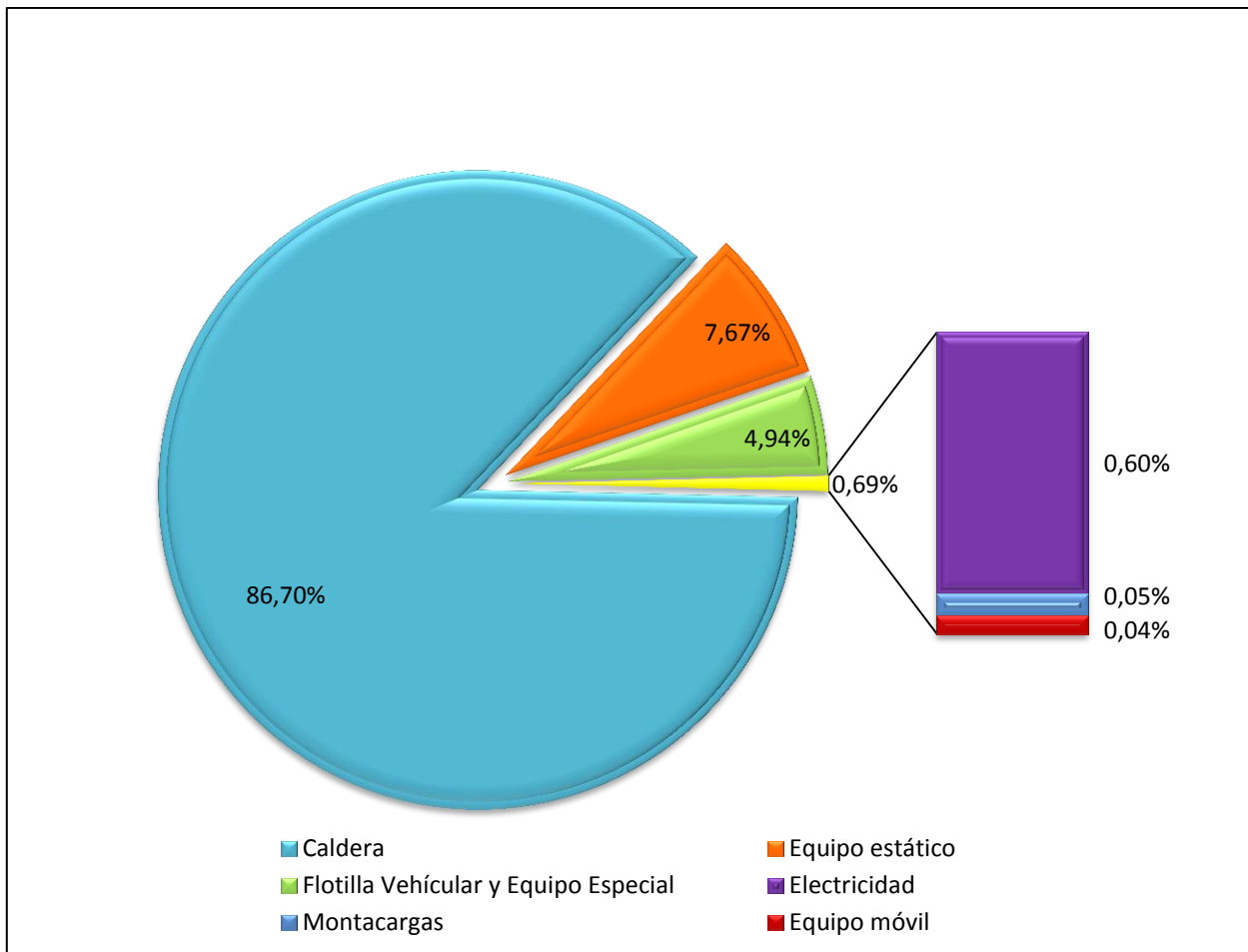
En el gráfico N°11 se observa que la fuente de caldera no tiene relación con el aporte de las demás fuentes; pero presenta las emisiones mayores a las emisiones totales emitidas en el año 2010, ya que esta no interfiere en la tendencia de ninguna otra fuente. Mientras que la línea de emisión de las otras fuentes se ven relacionadas o más cercanas entre si.

No obstante, la fuente Equipo Estático presente un punto en el mes de junio en el cual las emisiones se elevan considerablemente, debido al consumo tan alto que se dio en ese mes por el motor MP-3 referente a Bombeo (Capítulo I, fuente de Equipo Estático).

**Cuadro N°12.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por fuente causadas en el Plantel El Alto, en el año 2010.

| <b>Fuente generadora de GEI</b>      | <b>Cantidad emitida (t CO<sub>2</sub> e/ año)</b> |
|--------------------------------------|---|
| Flotilla vehicular y Equipo especial | 289,27  |
| Montacargas                          | 2,99  |
| Equipo móvil                         | 2,47  |
| Equipo estático                      | 448,59  |
| Caldera                              | 5.073,27  |
| Electricidad                         | 34,91   |
| <b>Total</b>                         | <b>5.849,03</b>                                   |

El total de las emisiones estimadas dentro del alcance establecido, da como resultando la generación de aproximadamente 5.849,03 ton de CO<sub>2</sub> equivalente para el Plantel El Alto, durante el periodo 2010. Donde el mayor aporte a este total de emisiones es causado por la fuente determinada como Caldera.



**Gráfico N°12.** Porcentaje (%) de emisiones totales de CO<sub>2</sub> e por fuente emitida por el Plantel El Alto, en el año 2010.

De acuerdo al gráfico N°12, el 87% aproximadamente del total de las emisiones generadas en el plantel corresponden a la planta de calderas. Mientras que el 13% restante corresponde a las demás fuentes cuantificadas. Por lo tanto, es importante trabajar en medidas de reducción para disminuir esas emisiones en las fuentes generadoras y compensar las emisiones sin posibilidad de reducción, para poder lograr así la Carbono Neutralidad.

## CAPÍTULO 2

### Propuesta de medidas de mitigación de emisiones

Las especies, las plantas y los animales que hoy conforman los ecosistemas que vemos en el mundo, tomaron millones de años para llegar a este equilibrio de diversidad y abundancia, y lo que estamos haciendo con el cambio climático es cambiar esas variables ambientales en un espacio, en una resolución temporal, de unas pocas décadas, lo cual en muchos casos va a ser más de lo que pueda la capacidad de adaptación resolver (Fernández, 2010).

El IPCC, define la mitigación como la intervención antropogénica para reducir las emisiones netas de GEI mediante la reducción del uso de combustibles fósiles, la reducción de las emisiones provenientes de zonas terrestres mediante la conservación de grandes yacimientos dentro de los ecosistemas, y/o el aumento del régimen de recogida de carbono por parte de los ecosistemas (IPCC, 2002).

La mitigación por lo tanto involucra modificaciones en las actividades cotidianas y económicas de las personas para lograr una disminución en las emisiones de GEI, a fin de reducir o hacer menos severos los efectos del Cambio Climático. Estas acciones de mitigación no implican necesariamente un “dejar de usar”, sino que representa un desafío y una oportunidad para introducir patrones más racionales y sustentables de producción y de consumo, cuyos beneficios se extiendan más allá de sus componentes climáticos (WRI, 2005).

Por lo que una vez realizado el inventario de emisiones, donde se da a conocer los datos sobre la cantidad de emisiones de GEI que la empresa produce en un periodo establecido. Es vital desarrollar estrategias para la gestión de los gases emitidos. El objetivo de esas estrategias es mitigar el efecto de esos gases, y poder alcanzar la Carbono Neutralidad.

Las estrategias de mitigación de emisiones que se proponen en este capítulo, para lograr que el Plantel El Alto sea carbono neutro año 2010, son reducir en un porcentaje las emisiones que se generan en la fuente de Calderas y compensar el resto de las emisiones mediante la fijación de carbono en plantaciones forestales.

## 2.1 Acciones de reducción de emisiones del área de Calderas.

Como se mencionó en el capítulo I, de las emisiones de GEI totales emitidas por el Plantel El Alto, el 87% correspondió a la fuente denominada caldera. Esta fuente produce grandes cantidades de energía en forma de vapor que requieren constantemente consumos elevados de combustible. En promedio se generan 5.000 lb/h de vapor en el Sistema de vapor del plantel, el cual cuenta con 3 unidades de caldera UB-414, UB-413 y UB-415. Las propiedades de éstas se presentan en el cuadro N°15.

**Cuadro N°13.** Características de las calderas del Plantel El Alto, RECOPE.

| Caldera | Marca        | Combustible | Tipo        | Presión (bar) | Tamaño (HP) | Producción de vapor (LB/hr) |
|---------|--------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-----------------------------|
| UB-414  | Tudds        | Bunker      | Acuatubular | 10            | 300         | 5500                        |
| UB-413  | York Shipley | Diesel      | Pirotubular | 4             | 50          | 2800-3000                   |
| UB-415  | York Shipley | Bunker      | Pirotubular | 10            | 250         | 5500-6000                   |

La caldera UB-413, su utiliza únicamente para el encendido de la unidad UB-414 o cuando sea necesario el requerimiento de poco vapor que se da en ciertos días feriados del año. Pero esto no siempre sucede, es ocasional y varía según la demanda de producto negro que se tenga. Para el año 2010, esta caldera no entro en funcionamiento.

Las calderas UB-415 y UB-414 no operan al mismo tiempo, sino que cuando alguna de las dos está funcionando, la otra se encuentra apagada y se le realiza el mantenimiento. Ya que su tamaño es muy cercano (cuadro N°13) permitiendo que la producción de vapor pueda ser abastecido por alguna de estas dos unidades.

Durante el año 2010, los primeros meses del año la necesidad de vapor fue abastecida por la UB-415, pero en los meses de setiembre-octubre comienza a operar la UB-414. Ya que se inicia labores de reparaciones internas en la caldera UB-415.



**Figura N°10.** Caldera UB-414.



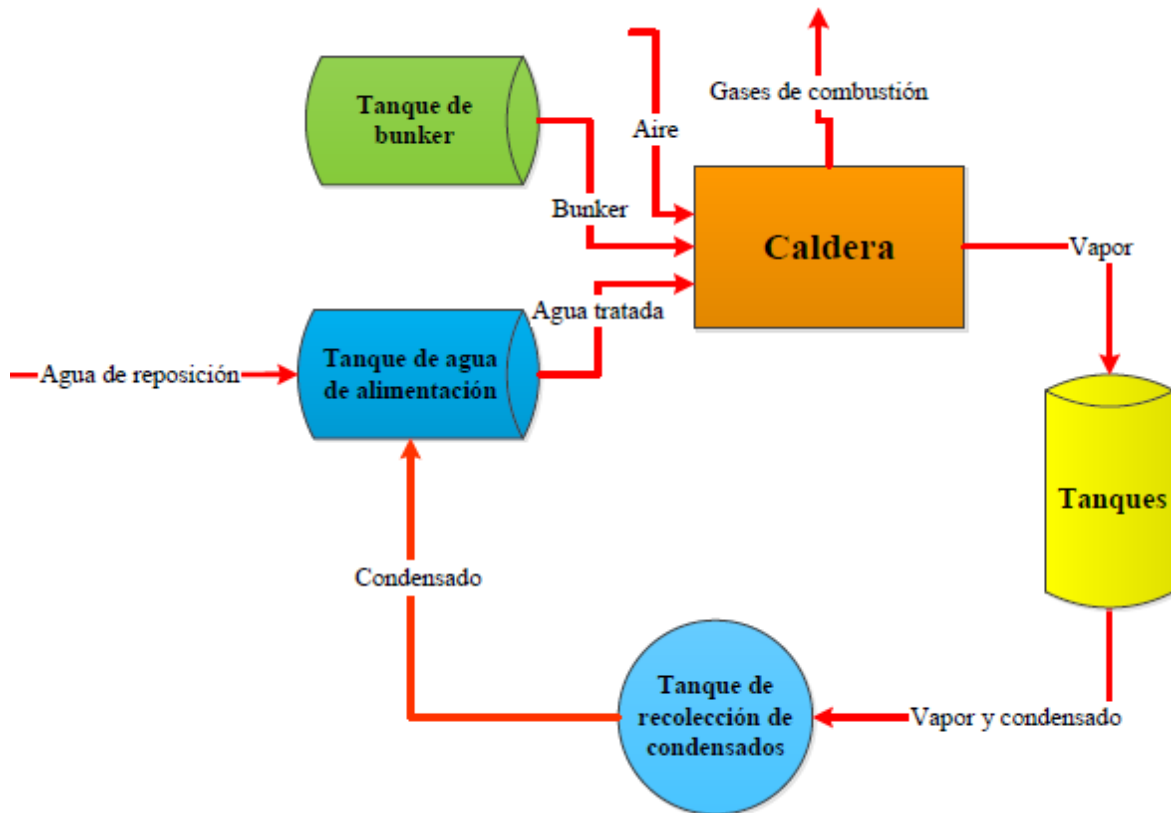
**Figura N°11.** Caldera UB-413.



**Figura N°12.** Caldera UB-415.



El funcionamiento básico que involucra el suministro de vapor a los tanques de almacenamiento de producto negro se muestra en el siguiente diagrama de flujo.



**Figura N°13.** Diagrama de flujo del Sistema de generación de vapor del Plantel El Alto, RECOPE.

El vapor producto del calentamiento de agua en las calderas es suministrado para calentar el producto negro que almacenan los tanques en el plantel (Anexo 6 y 7). El agua que alimenta la caldera es almacenada en un tanque que contiene un medidor de nivel para mantener el tanque con agua, la cual es bombeada a alta presión hacia la caldera. Ese vapor, que es agua en forma de gas, se enfría y se condensa, volviéndose líquido nuevamente. Este “condensado” que se caracteriza por ser agua de alta pureza, puesto que ha sido previamente tratada con productos químicos, se recupera manteniendo una temperatura relativamente alta que es incorporado nuevamente al tanque de agua de alimentación lo que provoca ahorros en calor, combustible y químicos del agua.

El tanque de bunker, corresponde al tanque que alimenta la caldera, este tiene una capacidad de 5.600 litros. Diariamente este tanque es abastecido por el tanque N°118, que es el que almacena el bunker en el plantel en gran cantidad, puesto que la caldera consume alrededor de 3.500 a 4.000 litros al día de bunker.

El retorno de condensados es aproximadamente un 45%. Esto sucede porque no es un Sistema presurizado, sino un Sistema de recolección de condensado convencional donde los gases disueltos como el oxígeno se liberan en el tanque de condensados conocidos como “vapor flash” para así liberar la presión en las tuberías por donde circula el condensado y retornarlo al tanque de alimentación de agua de la caldera. El vapor, desde que se genera hasta que regresa en forma de condensado para ser incorporado nuevamente al sistema, se ve afectado por pérdidas de calor que hace que este ciclo que se forma no sea ideal (Anexo 8).



**Figura N°14.** Tanque de recolección de condensados del Sistema de vapor

Los tanques de almacenamiento de producto negro a los cuales se les suministra vapor se presentan en el cuadro N°14.

**Cuadro N°14.** Tanques de almacenamiento de Producto negro del Plantel El Alto, RECOPE.

| N° Tanque | Producto | Capacidad barriles | Capacidad m <sup>3</sup> |
|-----------|----------|--------------------|--------------------------|
| 112       | Asfalto  | 10500              | 1669,366                 |
| 113       | Asfalto  | 10000              | 1589,872                 |
| 114       | Asfalto  | 10000              | 1589,872                 |
| 118       | Bunker   | 30500              | 4849,112                 |
| 150       | Asfalto  | 500                | 79,494                   |
| 151       | Emulsión | 500                | 79,494                   |
| 152       | Emulsión | 500                | 79,494                   |
| 153       | Emulsión | 500                | 79,494                   |
| 154       | Emulsión | 500                | 79,494                   |

*Fuente: Plan Maestro Plantel El Alto*

Aunado a lo anterior, los tanques de almacenamiento de agua y de bunker de alimentación a la caldera, ubicados dentro de la sección de calderas, también requieren de vapor ya que deben mantener una temperatura adecuada al ser inyectados a la caldera. El tanque de bunker debe mantener una temperatura mayor a 150 °F. Mientras que el tanque de agua de alimentación que contiene condensados debe estar entre 90-92 °C.

Actualmente, el Sistema de generación de vapor cuenta con un Reporte diario operacional en la caldera (Anexo 9), que lo realizan los operadores de esta área. Este reporte toma en cuenta una serie de parámetros, sobre los cuales los operadores se basan para que la caldera funcione adecuadamente. El reporte se actualiza cada dos horas durante los tres turnos que se dan por día (los turnos son de 8 horas), ya que la caldera funciona las 24 horas del día como se mencionó en el capítulo I, en la fuente de caldera.

También, se lleva un control de las emisiones de los gases de salida por las chimeneas de las calderas. Este estudio lo realiza Laboratorios Químicos Lambda solicitado por RECOPE cada año, pero a partir del 2011 se comenzó a realizar cada 4 meses. Los resultados obtenidos durante el año 2010 se presentan en el Anexo 10.



**Figura N°15.** Chimeneas de las calderas del Plantel El Alto.

En estos estudios se muestra los gases analizados y la comparación de los resultados obtenidos con la norma para Costa Rica, los cuales se encuentran dentro de lo estipulado. Asimismo, se muestra tres parámetros (temperatura, aire en exceso y la eficiencia) muy importantes para evaluar si la combustión que se da es óptima, pues es en el momento de la combustión del combustible donde se genera las emisiones a la atmósfera que modifican las composición del aire y tienen un poder contaminante sobre el mismo.

Para que se de una combustión completa, se requiere de una cantidad de aire precisa para que reaccione completamente con el combustible. Pero esto no sucede en la práctica real, puesto que las condiciones de combustión no son ideales, esto implica que se necesite una cantidad de aire adicional.

La operación de la caldera requiere de un exceso de aire adecuado, ya que esto mejora la eficiencia de la combustión y minimiza las pérdidas que se puedan dar por calor a través de la chimenea al ser quemado completamente el combustible, reduciendo la contaminación (ver Anexo 11). Pero si se sobrepasa del exceso de aire adecuado, se generaría pérdidas de calor ya que el flujo de gases de combustión aumentaría, reduciéndose la eficiencia de la caldera. Por el contrario, la falta aire provocaría que no sea quemado el combustible completamente provocando que aparezca humo, hollín y pérdida de energía.

Según los análisis hechos a las emisiones de los gases de salida producto de la combustión que se da en el interior de la caldera, la UB-415 presentó un exceso de aire de 18% con una eficiencia de 87,4%, la UB-414 muestra que el resultado de exceso de aire fue de 68% con una eficiencia de 79,7%, mientras que la UB-413 mostró un exceso de aire de 39% con una eficiencia de 81,7%.

Para el caso del combustible bunker, el exceso de aire recomendado debe ser de 10 – 15% (Jiménez, 2008). Esto indica que tanto la caldera UB-414 como la UB-415 sobrepasan el exceso de aire citado. No obstante, la UB-415 no sobrepasa en gran valor el rango establecido.

La UB-415 se caracteriza por ser una caldera automática, donde el control sobre los parámetros es menor ya que este lo hace el sistema de control electrónico que tiene incorporado la unidad, la cual fue instalada en el plantel en el año 2000. Sin embargo, la UB-414 no es una caldera moderna (fecha de instalación en el plantel: 1984) por lo que su sistema de control es más manual. Esto interfiere en el control de los parámetros para que se de una buena combustión.

Para la caldera UB-414, los funcionarios calibran el suministro de aire utilizando como indicador el humo saliente de la chimenea, si este es blanco indica que se está incorporando mucho vapor de atomización y aire, mientras que si el humo es negro, el combustible no está siendo quemado completamente, hay poco aire. Esto induce a que no se esté suministrando el exceso de aire adecuado para la combustión, y por tal razón el resultado del análisis del exceso de aire en esta unidad, viéndose afectada su eficiencia.

De acuerdo al análisis hecho anteriormente y por ser la caldera, la fuente que mayor aporte tiene al total de las emisiones del plantel, se van a proponer las siguientes medidas de reducción que tienen como fin disminuir la generación de emisiones a la atmósfera, a las cuales se les va a denominar Plan de Eficiencia Energética (PEE).

➤ Plan de Eficiencia Energética (PEE):

- Regular la relación aire-comburente, para una óptima combustión
- Pre calentamiento del aire para combustión
- Indicadores de eficiencia energética

## **Plan de Eficiencia Energética (PEE)**

### ▪ **Regular la relación aire-comburente, para una óptima combustión.**

Al haber exceso de aire hay pérdida de energía en la caldera, por lo que se propone la acción de corregir el exceso de aire en los gases de combustión. En la UB-414, se deben de calibrar las bielas del ventilador de flujo de aire de tal forma que el exceso de aire resultante esté dentro del rango de 10-15%. En la UB-415, se debe de verificar el valor en el sistema de control para que este esté y/o se mantenga lo más cercano al rango establecido.

Al realizar esta acción, se puede ahorrar entre un 8-10% de combustible bunker suministrado a la caldera, esto implica que se estarían dejando de emitir alrededor de 507 t de CO<sub>2</sub> e/ año en la fuente de calderas.

Además, al disminuir el exceso de aire, la eficiencia de la caldera por lo general se ve incrementada un 1% cada 15% de reducción del exceso de aire. Por lo que, la eficiencia de la caldera UB-414, puede verse mejorada aumentando alrededor de 84%.

Se recomienda estar verificando el valor de exceso de aire mediante los análisis de los gases cada tres meses, ya que esto permite rentabilidad en el Sistema de generación de vapor.

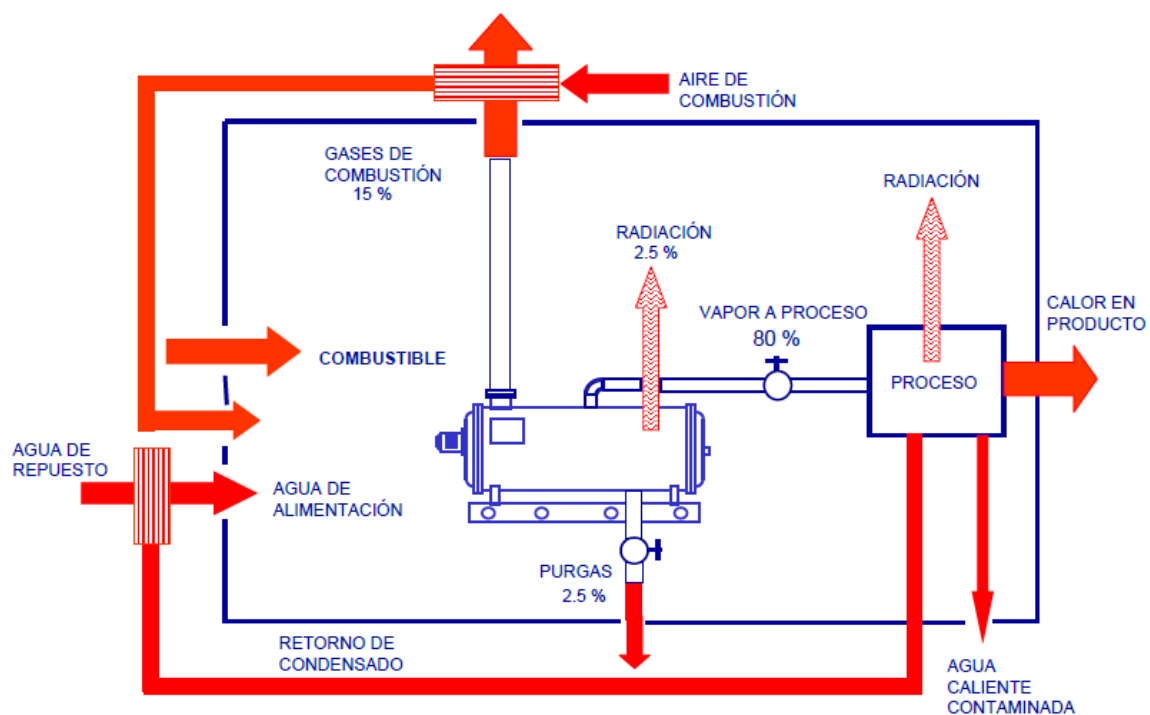
### ▪ **Pre calentamiento del aire para combustión.**

Esta acción tiene como fin recuperar el calor de los gases de escape, ya que estos en el plantel no tienen ningún uso. Se propone aprovechar el calor de los gases para precalentar el aire de combustión utilizando un intercambiador de calor, debido a que este aire actualmente se incorpora a temperatura ambiente.



Estos se instalan en las chimeneas, los cuales cuentan con tubos o placas internas que transfieren el calor de los gases de salida al aire que entra para la combustión, sin que se mezclen las dos corrientes de gases.

El precalentar el aire de combustión a una temperatura adecuada, provoca que la combustión sea más eficiente debido a que no se pierde calor durante el proceso, aumentando el desempeño de la caldera. Puesto que esta se realiza mejor en caliente, que a temperatura ambiente.



**Figura N°16.** Diagrama de recuperación de calor de los gases de combustión para el precalentamiento del aire de combustión.

*Fuente: (Jiménez, 2008)*

En la figura N°14, se muestra las pérdidas de calor que se dan en un Sistema de vapor. El 15% corresponde a pérdidas por gases de combustión. Al precalentar el aire de combustión como se muestra en la figura, se puede ahorrar entre un 10-15% de combustible que consume cada una de las calderas. Esto implica que se estarían dejando de emitir alrededor de 761 t de CO<sub>2</sub> e/ año en la fuente de calderas.

### Ahorro de combustible

Al realizarse las dos propuestas mencionadas anteriormente, se daría un ahorro de combustible de 10% al regular el exceso de aire que equivale a 162.390 litros/año de bunker y un 15% al precalentar el aire que equivale a 243.585 litros/año de bunker. Dando un ahorro total de 405.975 litros/año de bunker. Esto disminuiría los costos de producción de vapor, al verse reducido el consumo de combustible.

**Cuadro N°15.** Ahorro estimado al implementar las medidas de reducción de emisiones de GEI en la caldera.

| Detalle   | Valor       |
|---|-------------|
| Consumo de bunker (litros/año)  | 405.974     |
| Precio plantel del bunker (sin impuesto)<br>(colones/litros)*               | 323         |
| Ahorro estimado por implementación de<br>medidas de reducción (colones/año) | 131.129.925 |
| Tipo de cambio (colones/\$)   | 512         |
| Ahorro estimado por implementación de<br>medidas de reducción (\$/año)      | 256.113     |

\* Precio rigente desde el 02 de febrero de 2012

Al desarrollar el PEE se estaría reduciendo alrededor de un 25% de las emisiones de la fuente caldera, ya que el consumo de combustible se vería reducido en ese porcentaje, lo que correspondería a 1.268 t CO<sub>2</sub> e al año que se dejarían de emitir a la atmósfera con un ahorro estimado de ¢131.129.925 al año en combustible para la caldera.

▪ **Indicadores de eficiencia energética.**

Como se mencionó anteriormente, los datos sobre los cuales se lleva un control son los que se encuentran en el Reporte operacional que realizan los operarios de caldera. Pero estos no son suficientes para evaluar el desempeño que tiene la caldera. Por lo que es fundamental contar con otros datos para desarrollar los indicadores de eficiencia energética.

La acción que se propone es implementar un sistema de software, de manera tal que este lleve un control de los datos por periodos de tiempo, ya sea cada turno o cada dos horas como se tiene actualmente. Un sistema de estos, hace que el manejo de la información sea más fácil de administrar al ser almacenados en bases de datos (en forma digital) para su posterior análisis. Los valores necesarios requeridos para desarrollar los indicadores energéticos, se muestran a continuación:

- Agua de alimentación, kg/h
- Flujo de bunker de alimentación, kg/h
- Producción de vapor, kg/h
- Consumo eléctrico, kWh
- Porcentaje de recuperación de condensado

Para poder obtener el agua de alimentación y el flujo de bunker, es necesario disponer de un sensor que mida la cantidad de kg de agua o bunker que entran a la caldera por unidad de tiempo establecido. Para el caso de la producción de vapor, este valor si se anota en el Reporte operacional, pero es importante que sea incorporado al sistema de software a instalar, para poder almacenar los datos.

El consumo eléctrico debe ser únicamente del proceso de calderas, es decir, realizar las labores necesarias para que el suministro que requiere el área de calderas tenga su propia medidor para que de esta forma se pueda evaluar su consume sin que interfieran otros procesos de la empresa.

Es muy importante contabilizar el porcentaje de recuperación de condensado, ya que este nos permite monitorear la remoción adecuada de los condensados en las tuberías. Igualmente, va a permitir verificar el estado de las tuberías, y con ese valor establecer acciones y medidas para que ese porcentaje de recuperación de condensados de ser posible aumente, logrando con ello ahorros en combustible y químicos utilizados en el agua.

Los indicadores que permitirían monitorear la eficiencia energética de la producción de vapor se muestran a continuación:

- kg vapor producido/kg agua
- kg vapor producido/kg de combustible
- kg vapor producido/kWh consumido
- Eficiencia de la combustión

Estos índices energéticos evaluarían cuanto se requiere de agua, bunker o electricidad para generar una cantidad determinada de vapor, valorando su costo y como estos variarían durante las épocas del año. Además, permitirían monitorear las medidas propuestas anteriormente para reducir el consumo de bunker y por lo tanto de emisiones. Estos análisis de datos se recomiendan realizarse mensualmente, mediante gráficos que muestren de manera visual el comportamiento de los indicadores.

## 2.2 Compensación de emisiones.

Una de las estrategias utilizadas para mitigar las emisiones de GEI, es mediante la compensación de las emisiones. Esto se logra mediante la captura de CO<sub>2</sub> en sumideros, los cuales son capaces de fijar y almacenar carbono a través del crecimiento de los árboles.

Según la norma ISO, los sumideros se definen como la unidad o proceso físico que remueve GEI de la atmósfera. Los principales sumideros o reservorios (unidad física de la biosfera, geósfera o la hidrosfera que almacena un GEI removido de la atmósfera) son los bosques, o plantaciones forestales las que permiten realizar una compensación de las emisiones.

Este proceso de fijación en la biomasa vegetal se realiza durante la fotosíntesis, en la cual la especie toma el carbono para su estructura y libera el oxígeno. Esta tasa de fijación va a variar según aspectos característicos de la especie como el crecimiento, la edad, la zona climática, la cantidad de biomasa entre otros factores que determinan la captura anual de carbono de las especies de árboles en un área dada.

RECOPE como parte de este proceso de mitigación de emisiones, posee una finca de terreno conocida como Finca Torito, la cual tiene como propósito utilizarse en la compensación de las emisiones que genera la empresa. Por lo que como parte del estudio de cuantificación de las emisiones del Plantel El Alto, esta finca al ser reforestada formara parte del proceso de fijación de emisiones de CO<sub>2</sub> e generadas en el plantel.

La Finca Torito, se localiza en el distrito de Peralta (Anexo 12), cantón de Turrialba. Sobre este terreno se da el paso del oleoducto de RECOPE proveniente de Limón. Tiene un área de alrededor 15 hectáreas (Anexo 13). Actualmente el terreno se encuentra sin ninguna cobertura boscosa (Anexo 14).

Según el Ing. Lesmes Chaves, de la unidad ambiental de RECOPE, este terreno se va a reforestar, pero también tiene otros objetivos, como lo son lograr instalar un “Parque Biológico o Biótico”, por lo que aparte de rescatar la vegetación del lugar, también va a funcionar como una zona de esparcimiento y campamento recreativo para los funcionarios de la empresa. Por lo que únicamente se va a reforestar 10 hectáreas de terreno.

Con ello, se determinaron ciertas especies de árboles posibles a sembrar en la zona de Peralta, donde se encuentra localizado este terreno, para estimar la capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> y de acuerdo a esto mitigar las emisiones producidas en el Plantel El Alto.

De acuerdo al ingeniero forestal Chaves, la selección de las especies se realizó tomando en cuenta factores como el clima, que sean de larga vida, rápido crecimiento, bajo mantenimiento, de ser posibles nativas y/o vías de extinción. Además, esta reforestación tiene como parámetros una densidad inicial de 3 x 3, suponiendo que se puedan sembrar 1000 árboles por hectárea de terreno.

La cantidad de CO<sub>2</sub> que pueden remover las especies seleccionadas según la estimación realizada se muestra a continuación:

**Cuadro N°16.** Cantidad de CO<sub>2</sub> almacenado según especie.

| <b>Especie</b>                 | <b>Remoción (t CO<sub>2</sub>/ha/año)</b> |
|--------------------------------|---|
| <i>Terminalia oblonga</i>      | 19,13                                     |
| <i>Vochysia ferruginea</i>     | 14,42                                     |
| <i>Dipteryx panamensis</i>     | 21,82                                     |
| <i>Vochysia guatemalensis</i>  | 32,07                                     |
| <i>Hyeronima alchorneoides</i> | 20,89                                     |

El cuadro N°16, muestra que la especie de mayor capacidad de remoción según la estimación hecha es la *Vochysia guatemalensis*, siendo el incremento medio anual, el factor que más influye para que la fijación sea mayor en comparación con las otras especies. Por otro lado, la especie *Vochysia ferruginea*, presenta la menor capacidad de fijación de CO<sub>2</sub>, puesto que el valor del incremento medio anual es el más bajo. El presentar un incremento medio anual mayor se relaciona con que su capacidad de acumular carbono en la biomasa es alta, esa tasa de fijación de carbono se ve reflejado por unidad de área y de tiempo en la plantación forestal de la especie.

Según la estimación anterior, en cuanto al almacenamiento de CO<sub>2</sub> que tienen las diversas especies, se calculó la cantidad de emisiones que pueden ser removidas al reforestar la Finca Torito, del total de las emisiones cuantificadas para el Plantel El Alto. Esto tomando en cuenta que la reforestación abarca un área de 10 hectáreas de terreno.

El cuadro N°17, presenta la estimación de las emisiones que pueden ser fijadas por las diversas especies al realizar la siembra en la finca.

**Cuadro N°17.** Estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> fijadas por especie en la Finca Torito.

| <b>Especie</b>                 | <b>Emisiones fijadas (t CO<sub>2</sub>/año)</b> |
|--------------------------------|---|
| <i>Terminalia oblonga</i>      | 191,30  |
| <i>Vochysia ferruginea</i>     | 144,24  |
| <i>Dipteryx panamensis</i>     | 218,21  |
| <i>Vochysia guatemalensis</i>  | 320,68  |
| <i>Hyeronima alchorneoides</i> | 208,90  |

Lo anterior implica, que si se reforesta la Finca Torito con *Vochysia guatemalensis*, que es la especie que mayor emisiones fija, se estaría mitigando 320,68 t CO<sub>2</sub> e del total de las emisiones cuantificadas que suman 5.849,03 t CO<sub>2</sub>, es decir, se estaría compensando cerca del 5,48% del total de las emisiones del Plantel El Alto del año 2010.

El costo por el cual la empresa RECOPE tendría que incurrir para reforestar la finca, según datos suministrado por el ingeniero forestal Chaves, donde se indica que el costo manejado es de acuerdo al mercado actual (año 2012), se muestra en el cuadro N°18.

Se tomó como costo por árbol sembrado la cantidad de 1.500 colones. De los cuales, ¢500 corresponden al valor del árbol y ¢1.000 para la actividad de la siembra y el mantenimiento durante los 6 meses después de realizada la siembra. El mantenimiento implica la fertilización, chapea y rodajea alrededor del árbol sembrado.

**Cuadro N°18.** Costo de reforestar la Finca Torito para compensar parte de las emisiones de GEI del Plantel El Alto.

| Detalle                                    | Valor       |
|--|-------------|
| Costo por árbol sembrado (colones/árbol)   | ¢1.500      |
| Cantidad de árboles a sembrar por hectárea | 1.000       |
| Hectáreas de terreno (ha)                  | 10          |
| Costo de la siembra de árboles (colones)   | ¢15.000.000 |

Reforestar la Finca Torito, tiene un costo de ¢15.000.000 que la empresa RECOPE debe incurrir para la contratación de los servicios profesionales, para realizar la siembra y el mantenimiento de 10.000 especies de árboles.

Los beneficios que se pueden obtener, además de compensar emisiones de GEI, son recuperar parte del fondo forestal: biodiversidad y devolver el uso adecuado del suelo. Evitar la erosión del sitio, ya que este se caracteriza por tener pendiente y a la vez prevenir la contaminación del río cercano, para poder darle mayor uso a este recurso tan preciado.



Para contrarrestar el aporte de los restante emisiones de GEI del plantel, tomando en cuenta la fijación que puede darse en la Finca Torito por especie (cuadro N°17) y restando las emisiones que se reducirían al implementar las propuestas del PEE (1.268 t CO<sub>2</sub> e). La cantidad de hectáreas de terreno que se requieren para compensar esas emisiones se muestran en el cuadro N°19.

**Cuadro N°19.** Área a reforestar por especie para compensar las emisiones del Plantel El Alto, durante el período 2010.

| Especie                        | Hectáreas (ha) |
|--------------------------------|----------------|
| <i>Terminalia oblonga</i>      | 229,47         |
| <i>Vochysia ferruginea</i>     | 307,59         |
| <i>Dipteryx panamensis</i>     | 199,94         |
| <i>Vochysia guatemalensis</i>  | 132,86         |
| <i>Hyeronima alchorneoides</i> | 209,30         |

De la especie que mayor fijación tiene de CO<sub>2</sub>, que es el Cebo (*Vochysia guatemalensis*), se necesitaría alrededor de 133 hectáreas de terreno para compensar el resto de las emisiones. Ya sea reforestando otras fincas que sean propiedad de RECOPE o que la empresa adquiriera fincas de terrenos, hasta lograr la cantidad estimada de área a reforestar.

Es trascendental que cada sector de la empresa analice las fuentes emisoras, para que con ello se establezcan prácticas o mejoras que se puedan implementar para reducir las emisiones generadas, tales como el uso de tecnologías alternas de energía. De esta manera, que lo que se compense sea solo aquellas emisiones sin posibilidad de reducción.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

El Plantel El Alto de RECOPE, emitió en promedio 5.849,03 t CO<sub>2</sub> equivalente durante el periodo 2010. Cuyo aporte de las fuentes evaluadas al total de las emisiones fue: Caldera (86,70%), Equipo estático (7,67%), Flotilla vehicular y equipo especial (4,94%), Electricidad (0,60%), Montacargas (0,05%) y Equipo móvil (0,04%).

El área de caldera, fue la fuente con mayor aporte al total de las emisiones estimadas para el plantel, con 5.073,27 t CO<sub>2</sub> e. La fuente corresponde al mayor consumo de combustible tipo bunker que se da en el plantel.

El desarrollo del Plan de Eficiencia Energética (PEE), que tiene como objetivo disminuir las emisiones de la fuente caldera. El cual puede reducir las emisiones que se generan por la producción de vapor en un 25%, lo que implica una reducción de 1.268 t CO<sub>2</sub> e que se dejarían de emitir al ambiente con un ahorro aproximado de ¢131.129.925 al año en combustible para esta fuente.

Como medida de compensación, la Finca Torito al ser reforestada puede llegar a fijar 320,68 t CO<sub>2</sub> e con la especie *Vochysia guatemalensis*, que es la que tiene la mayor capacidad de remoción. El costo que RECOPE debe solventar para poder realizar la siembra de 10.000 árboles en esta finca es aproximadamente ¢15.000.000, de acuerdo al mercado actual.

Para compensar las restantes emisiones y poder alcanzar la Carbono Neutralidad del año 2010, es necesario sembrar alrededor de 133 ha de terreno con la especie *Vochysia guatemalensis*. Tomando en cuenta que la reforestación de la Finca Torito se realiza y la propuesta del PEE se implementa.

## Recomendaciones

Establecer un control más estricto, mejorando los niveles de recopilación de información y registro de los datos de actividades de las diversas fuentes identificadas como generadoras de GEI. De manera tal que su acceso, su procesamiento y su análisis sea más fácil de acuerdo a la tecnología con la que se puede contar actualmente, ya sea utilizando software o que su registro se lleve de forma digital.

Realizar anualmente el Inventario de emisiones del Plantel El Alto, donde se recopilen todos los registros de consumo de combustible y electricidad del plantel. Además con ello, llevar un control de las medidas de mitigación de las emisiones y el avance que se tienen, como incorporar nuevas medidas que ayuden a la mitigación.

Valorar y analizar la posibilidad de un cambio de equipo de calderas por unas más modernas, de tal forma que estas sean más eficientes y con un mayor rendimiento. Que se basen en el uso de combustibles con menos número de átomos de carbono para disminuir el impacto al medio ambiente, como por ejemplo el diesel o inclusive el biodiesel. Dando como resultado una reducción en el consumo de energía.

Desarrollar un Procedimiento de Inspección de Eficiencia Energética de las Calderas, con el propósito de reducir el consumo de energía y limitar las emisiones de GEI. Donde se establezcan: un control de todos los aspectos que rigen el buen funcionamiento del equipo y del sistema de vapor, las condiciones más adecuadas para la toma de los datos de acuerdo al tipo de caldera y combustible que utiliza, los requerimiento de los equipos de medida, los intervalos de los valores admisibles de los niveles de emisión de acuerdo a la legislación nacional, los periodos de mantenimiento de los equipos.

Implementar el uso de energías limpias como estrategias de reducción de GEI en todas las fuentes generadoras, mediante el establecimiento de proyectos para que las emisiones puedan verse disminuidas y conjuntamente recibir beneficios ambientales y económicos.

Evaluar la opción de adquisición de Bonos de Carbono; los cuales son mecanismos internacionales utilizados para reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera, los cuales se obtienen mediante Certificados de Emisiones Reducidas. Con la compra de estos se puede ver reducida la cantidad de hectáreas a reforestar para lograr la Carbono Neutralidad en el plantel.

Las emisiones fugitivas no fueron contabilizadas en este estudio, pero es importante implementar un programa de control de estas emisiones para evitar pérdidas de hidrocarburos. Este programa puede incorporar procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo, mediciones, estimaciones, mejoras en los sellos, cambios de accesorios, etc. De manera tal que se mejore la seguridad del plantel y la salud de los funcionarios, y a la vez conservando las propiedades de los productos.

La planta de tratamiento del Plantel El Alto procesa agua residual con alto contenido de hidrocarburo, lo que ocasiona que se produzcan emisiones al ambiente principalmente de metano. Por lo que se recomienda llevar un control sobre estas emisiones que a su vez trae implícito el control de aspectos como parámetros de calidad de aguas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A *et al.* (1998). Plan Maestro Plantel El Alto de Ochomogo. RECOPE.
- Barnetche, M & *et al.* (2006). Sistema de Inventario de Emisiones Atmosféricas. PETROBRAS ENERGÍA S.A. Recuperado de: <http://www.ceads.org.ar/casos/2006/Petrobras%20-%20Jornadas%20IAPG.pdf>
- Chacón, A; Montenegro, J & Sasa, J. (2009). Inventario Nacional de Emisión de Gases de Efecto Invernadero y de Absorción de Carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005. Gobierno de Costa Rica. Recuperado de: [http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/inventario\\_gases\\_efecto\\_invernadero.pdf](http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/inventario_gases_efecto_invernadero.pdf)
- CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía) (2005). Mejora de la eficiencia de la caldera. Recuperado de: <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3850/2/Agosto2005.pdf>
- Cruz, L. (2006). Ahorros energéticos en la reutilización de gases de chimenea en la Industria. Recuperado de: [http://www.dequate.com/ecologia/article\\_2998.shtml](http://www.dequate.com/ecologia/article_2998.shtml)
- Delgado, A *et al.* (2003). Crecimiento de especies forestales nativas en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 27(1), 63-78. Recuperado de: [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v27n01\\_063.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v27n01_063.pdf)
- Echarri, L. (2007). Tema 7 Contaminación de la atmósfera. Recuperado de <http://www.unav.es/>
- Franklin, N & Leahey, D. (1999). Metodologías de Inventarios de Emisiones Atmosféricas en la Industria Petrolera. Guía ARPEL (Asociación regional de empresas de petróleo y gas natural en Latinoamérica y el caribe).
- Fernández, A. (2010). Conferencia magistral “Actividades de cambio climático del Instituto Nacional de Ecología/Programas Estatales de Acción Climática”. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/12224787/Dr-Adrian-Alfredo-Fernandez-Bremauntz>
- INE (Instituto Nacional de Ecología). (2010). Cambio Climático en México. Recuperado de [http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/queselcc/evidenciasdelcc.html](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/queselcc/evidenciasdelcc.html)

- INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica). (2006). Norma INTE-ISO 14064-1 Gases de Efecto Invernadero Parte 1, 2 y 3. San José, Costa Rica.
- IPCC. (2001). Cambio Climático 2001: Mitigación. Recuperado de <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/mitigation/mitigation-spm-ts-sp.pdf>
- IPCC. (2002). Cambio Climático y Biodiversidad. Recuperado de <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>
- IPCC. (2003). Orientación sobre las buenas prácticas en el sector de CUTS. Recuperado de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf/spanish/ch3.pdf>
- IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Recuperado de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- IPCC. (2008). Cambio Climático 2007, Informe de Síntesis. Recuperado de [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf)
- IPIECA. (2003). Directrices de la industria petrolera para la notificación de emisiones de gases de efecto invernadero. Recuperado de <http://www.iecea.org/>
- Jiménez, R. (2008). Uso eficiente de la energía en calderas. Recuperado de [http://energia.guanajuato.gob.mx/siegconcyteg/eventosieg/archivos/Seminario\\_Calderas.pdf](http://energia.guanajuato.gob.mx/siegconcyteg/eventosieg/archivos/Seminario_Calderas.pdf)
- Kiely, G. (1999). INGENIERÍA AMBIENTAL Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. España: McGraw-Hill
- Chaves, L. (2011). Información sobre posibles especies de árboles a sembrar en la Finca Torito (entrevista). San José, CR. Oficinas centrales de la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE S.A).
- Martínez, I. (1992). Capítulo 15: Procesos de combustión: características. Termodinámica básica y aplicada. Dossat: p. 355-382.
- Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC). (2007). Recuperado de <http://www.encc.go.cr/index.html>
- Molina, A. (2009). Balance Energético Nacional 2009. Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET). Dirección Sectorial de Energía. Recuperado de <http://www.dse.go.cr/es/03Publicaciones/02Estadisticas/balances/balance2009.pdf>

- Montero, M & Kanninen, M. (n,d). Biomasa y Carbono en plantaciones de *Terminalia amazonia* en la zona sur de Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana. Recuperado de: [http://web.catie.ac.cr/informacion/RFCA/rev39\\_40/50\\_55.pdf](http://web.catie.ac.cr/informacion/RFCA/rev39_40/50_55.pdf)
- PEMEX (Petróleos Mexicanos). (2011). Reporte 2010 de Gases de Efecto Invernadero. Recuperado de [http://www.geimexico.org/downs/reportes2011/PEMEX-2010\\_OK.pdf](http://www.geimexico.org/downs/reportes2011/PEMEX-2010_OK.pdf)
- Piotto, D. (2001). Plantaciones Forestales en Costa Rica y Nicaragua: Comportamiento de las especies y preferencias de los productores. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0376E/A0376E.PDF>
- PNUMA. (2006). Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono. Séptima edición. Recuperado de <http://ozone.unep.org/spanish/Publications/MP-Handbook-07-es.pdf>
- Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (1998). Recuperado de <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Varela, A. (2004). La Contaminación Atmosférica. Recuperado de [http://umbral.uprrp.edu/files/La%20Contaminaci%C3%B3n%20Atmosf%C3%A9rica\\_0.pdf](http://umbral.uprrp.edu/files/La%20Contaminaci%C3%B3n%20Atmosf%C3%A9rica_0.pdf)
- WRI (World Resources Institute). (2005). Protocolo de Gases de Efecto Invernadero. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte. Recuperado de [http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/protocolo\\_de\\_gei.pdf](http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/protocolo_de_gei.pdf)

## **ANEXOS**



## Anexo N°1. Potencial de Calentamiento Global para 100 años.

**Cuadro N°20.** Potencial de Calentamiento Global (PCG).

| Gas                           | PCG (para 100 años) |
|-------------------------------|---------------------|
| CO <sub>2</sub>               | 1                   |
| CH <sub>4</sub>               | 21                  |
| N <sub>2</sub> O              | 310                 |
| HFC-23                        | 11700               |
| HFC-125                       | 2800                |
| HFC-134 <sup>a</sup>          | 1300                |
| HFC-143 <sup>a</sup>          | 3800                |
| CF <sub>4</sub>               | 6500                |
| C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> | 9200                |
| SF <sub>6</sub>               | 23900               |

*Fuente: Protocolo de Kyoto*

## Anexo N°2. Ubicación de la zona de Ochomogo de Cartago.

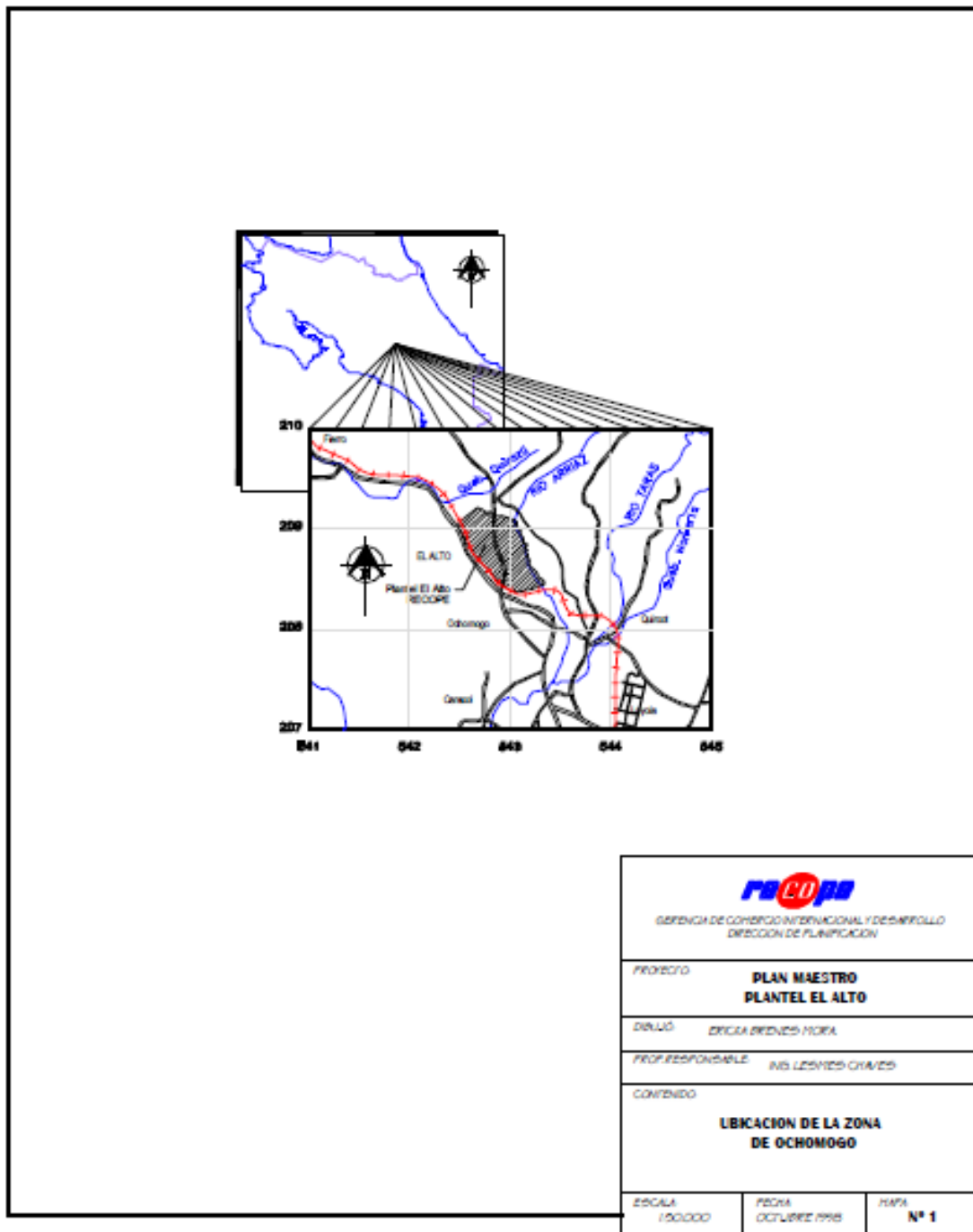
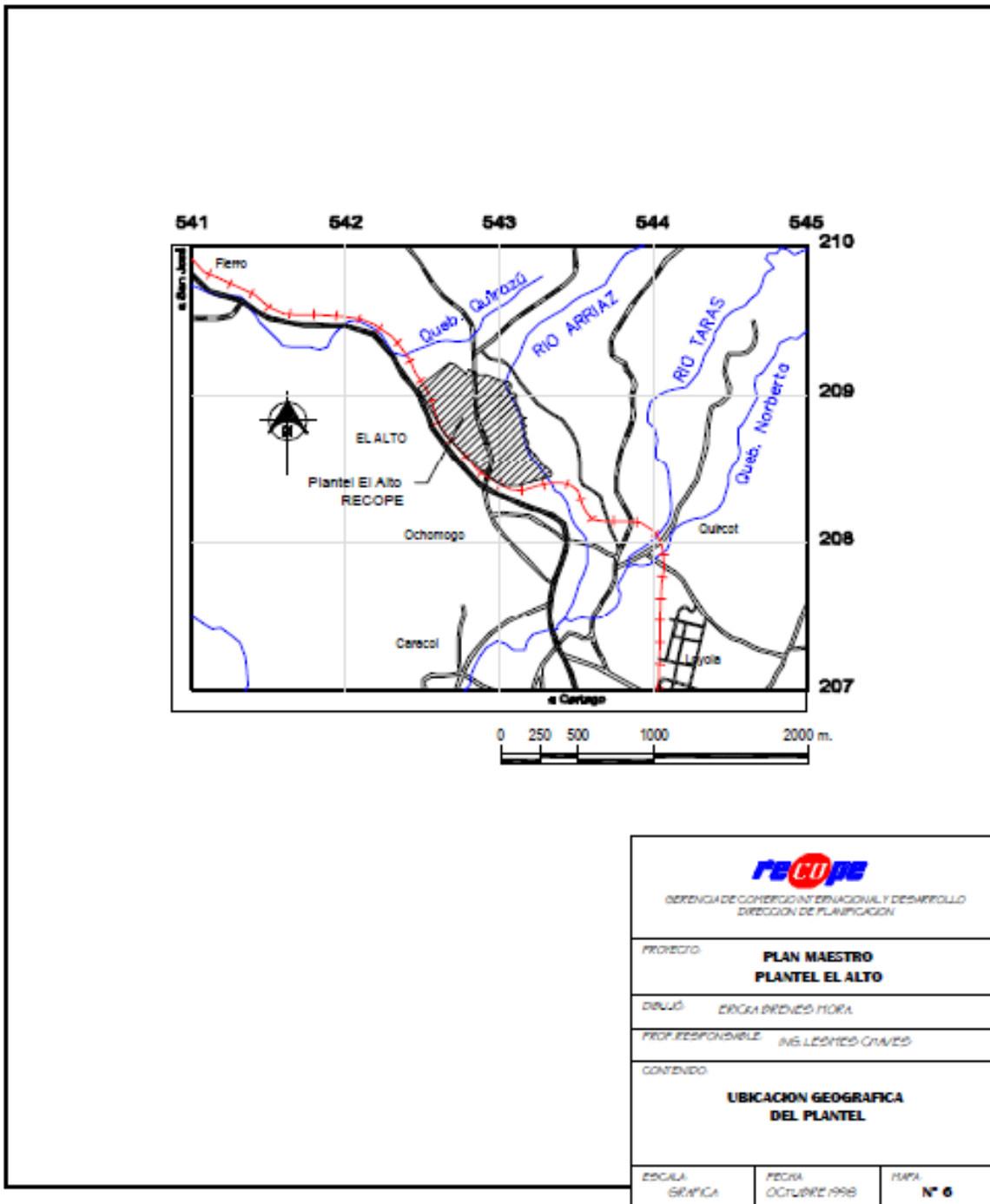


Figura N°17. Ubicación de la zona de Ochomogo.

Fuente: Plan Maestro Plantel El Alto



**Figura N°18.** Ubicación geográfica del Plantel E Alto.

*Fuente: Plan Maestro Plantel El Alto*

### **Anexo N°3. Porcentaje de generación por tipo de fuente de energía en Costa Rica para el año 2010.**

**Cuadro N°21.** Generación por tipo de fuente de energía en Costa Rica para el año 2010.

| <b>Fuente</b>    | <b>Porcentaje (%)</b> |
|------------------|-----------------------|
| Hidroeléctrica   | 76,38                 |
| Geotérmica       | 16,23                 |
| Térmica          | 6,76                  |
| Eólica           | 3,78                  |
| Biomasa y biogás | 0,69                  |

*Fuente: ARESEP*

## Anexo N°4. Poder calórico y densidad de distintos tipos de combustibles.

**Cuadro N°22.** Poder calórico y densidad de distintos tipos de combustibles.

| Combustible | Poder calórico (MJ/kg) | Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------|------------------------|-------------------------------|
| Gasolina    | 47,9                   | 745                           |
| Diesel      | 44,9                   | 845                           |
| Bunker      | 43,0                   | 935                           |
| LPG         | 50                     | 535                           |

*Fuente: Suministrado por el Lic. Gonzalo Alpizar del Laboratorio de calidad del Plantel El Alto, RECOPE*

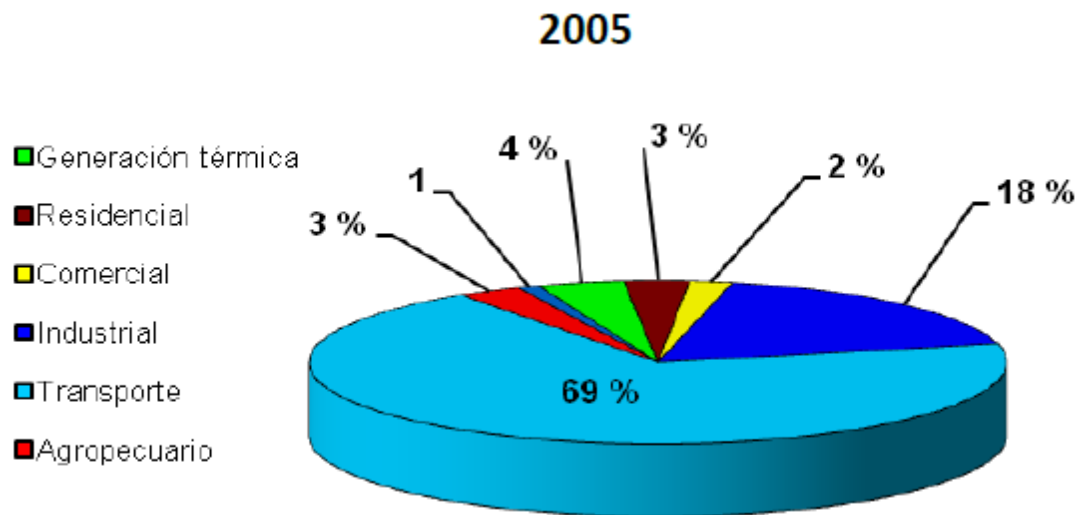
## Anexo N°5. Resultados del Inventario de emisiones de GEI de Costa Rica del año 2005.

**Emisión de gases con efecto invernadero como CO<sub>2</sub> equivalente para el 2000 y 2005**

| Fuente de emisión                         | Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente (Gg) |                |
|---|---|----------------|
|   | 2000  | 2005           |
| Energía                                   | 4.805,6                                       | 5.688,6        |
| Procesos industriales                     | 449,8   | 672,5          |
| Agricultura                               | 4.608,6                                       | 4.603,9        |
| Cambio de uso de la tierra y silvicultura | -3.160,5                                      | -3.506,7       |
| Desechos                                  | 1.236,9                                       | 1.320,9        |
| <b>Total</b>                              | <b>7.940,5</b>                                | <b>8.779,2</b> |

**Figura N°19.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente del Inventario de emisiones de Costa Rica para el 2000 y 2005

Fuente: (Chacón et al, 2009)



**Figura N°20.** Distribución de la emisión de GEI por fuente para el 2005 de Inventario Nacional de Costa Rica.

Fuente: (Chacón et al, 2009)

**Anexo N°6. Planta General El Alto, RECOPE.**



**Figura N°21.** Planta general El Alto, RECOPE.

*Fuente: Departamento de Topografía Plantel El Alto*

**Anexo N°7. Área de producto negro Plantel El Alto, RECOPE.**



**Figura N°22.** Área de producto negro del Plantel El Alto, RECOPE.



## Anexo N°8. El ciclo del vapor en un Sistema de vapor.

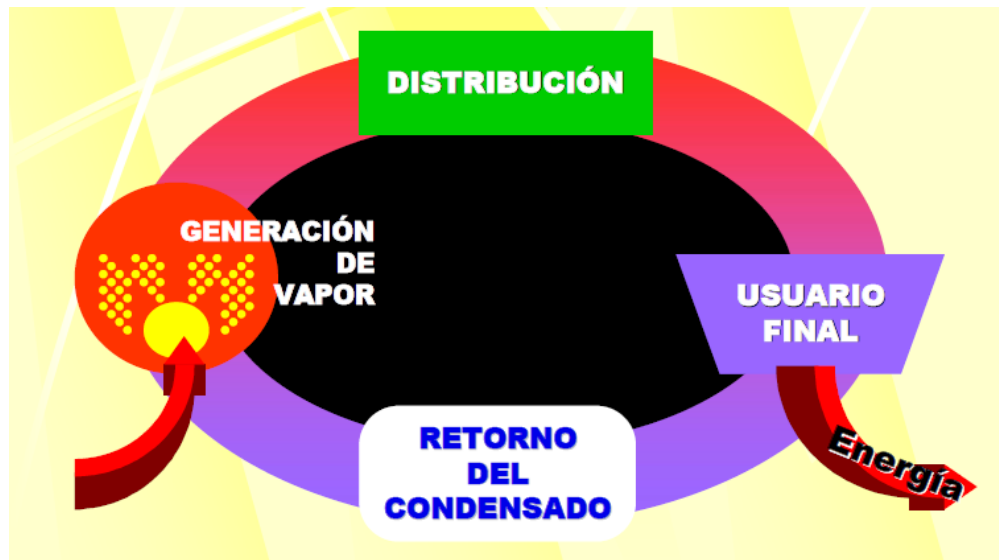


Figura N°23. El ciclo del vapor Ideal.

Fuente: <http://www.cds.espol.edu.ec/documentos/Auditoria%20Energetica.pdf>

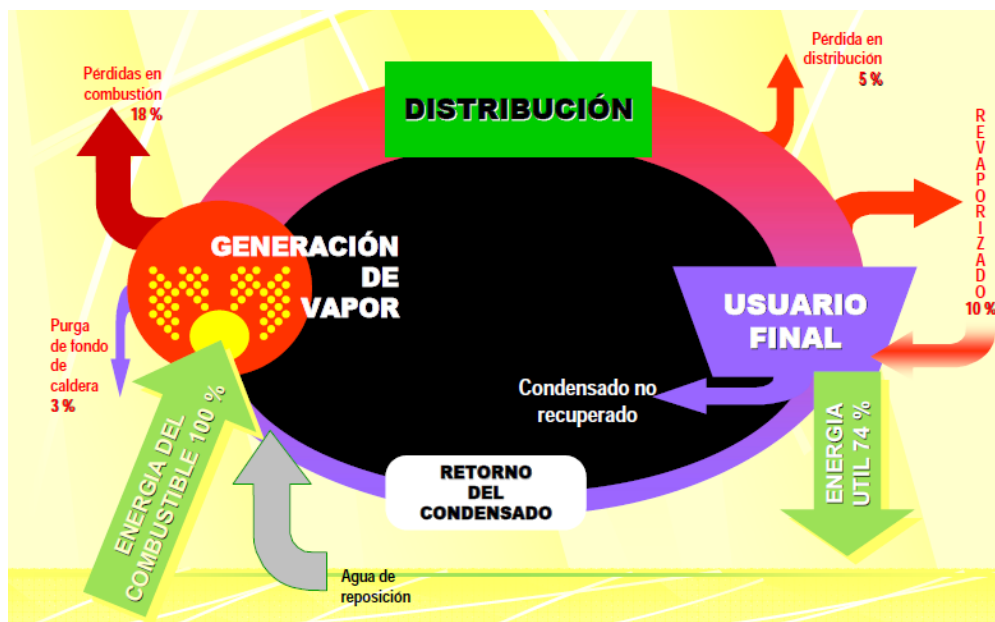


Figura N°24. El ciclo del vapor Real.

Fuente: <http://www.cds.espol.edu.ec/documentos/Auditoria%20Energetica.pdf>

**Anexo N°9. Reporte operacional de la caldera del Alto de Ochomogo, RECOPE.**

RECOPE  
Una empresa con energía

REPORTE DIARIO DE OPERACIONES EN LA CALDERA DEL ALTO DE OCHOMOGO

Observaciones: \_\_\_\_\_  
N°: \_\_\_\_\_  
CALDERA N°: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

| HORA       | TEMP. CHIMEN °C | T. AGUA ALIMEN. °C | TEMP. VAPOR °C | TEMP. COMBUS. °C | VARIABLES         |             |                       |                   | FLUJO VAPOR LB/HR | NIVEL TK. COMBUS. % | NIVEL TK. AGUA % | NIVEL TK. CALDERA % |
|------------|-----------------|--------------------|----------------|------------------|-------------------|-------------|-----------------------|-------------------|-------------------|---------------------|------------------|---------------------|
|            |                 |                    |                |                  | PRESION VAPOR BAR | COMB. A BAR | PRESION COMBUS. A BAR | PRESION VAPOR BAR |                   |                     |                  |                     |
| 12:00 m.n. |                 |                    |                |                  |                   |             |                       |                   |                   |                     |                  |                     |
| 02:00 a.m. |                 |                    |                |                  |                   |             |                       |                   |                   |                     |                  |                     |
| 04:00 a.m. |                 |                    |                |                  |                   |             |                       |                   |                   |                     |                  |                     |
| 06:00 a.m. |                 |                    |                |                  |                   |             |                       |                   |                   |                     |                  |                     |
| 08:00 a.m. |                 |                    |                |                  |                   |             |                       |                   |                   |                     |                  |                     |
| 10:00 a.m. |                 |                    |                |                  |                   |             |                       |                   |                   |                     |                  |                     |
| 12:00 m.d. |                 |                    |                |                  |                   |             |                       |                   |                   |                     |                  |                     |
| 02:00 p.m. |                 |                    |                |                  |                   |             |                       |                   |                   |                     |                  |                     |
| 04:00 p.m. |                 |                    |                |                  |                   |             |                       |                   |                   |                     |                  |                     |
| 06:00 p.m. |                 |                    |                |                  |                   |             |                       |                   |                   |                     |                  |                     |
| 08:00 p.m. |                 |                    |                |                  |                   |             |                       |                   |                   |                     |                  |                     |
| 10:00 p.m. |                 |                    |                |                  |                   |             |                       |                   |                   |                     |                  |                     |

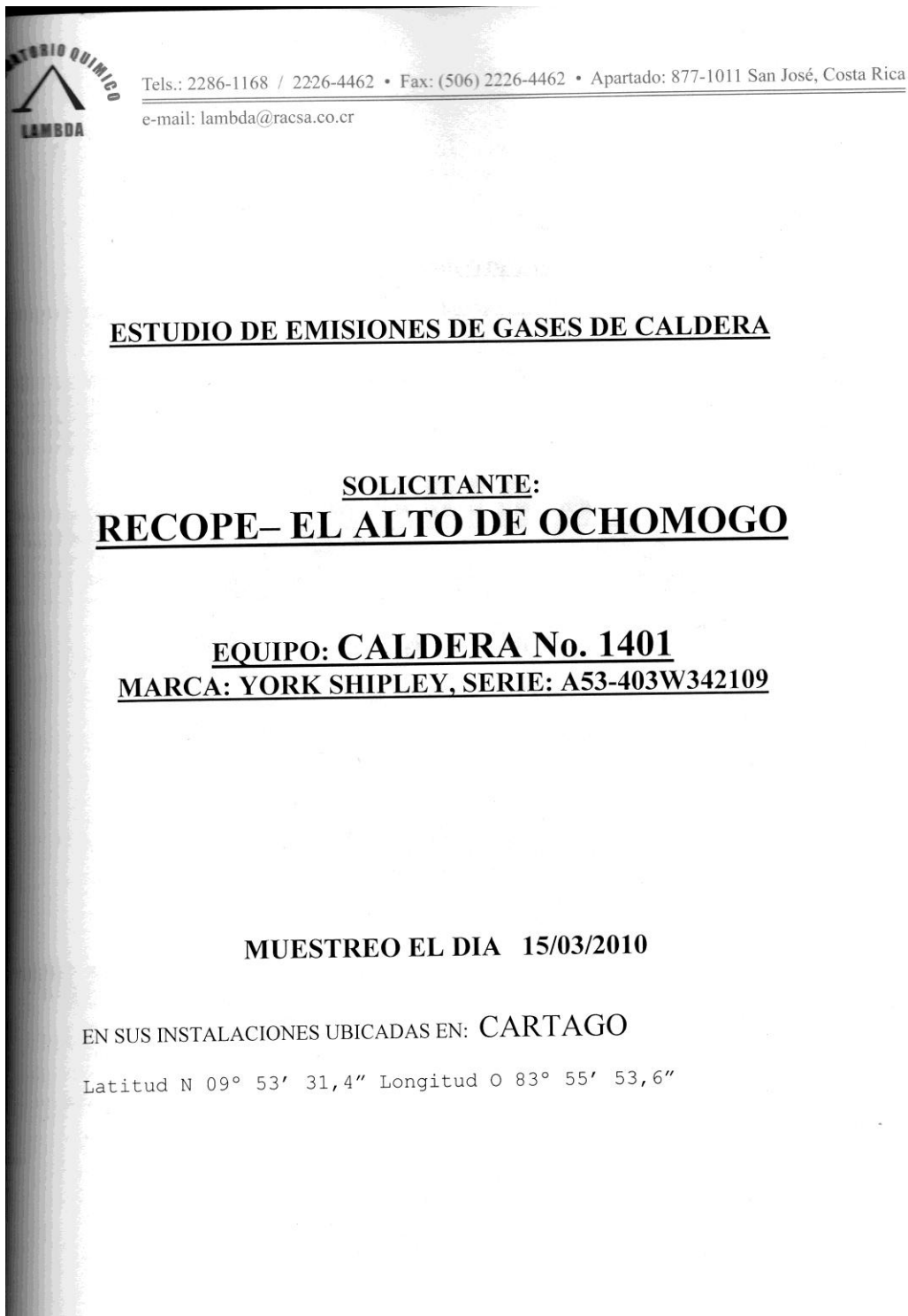
TURNOS

23:00 a 07:00 NOMBRE: \_\_\_\_\_ FIRMA: \_\_\_\_\_  
 07:00 a 15:00 NOMBRE: \_\_\_\_\_ FIRMA: \_\_\_\_\_  
 15:00 a 23:00 NOMBRE: \_\_\_\_\_ FIRMA: \_\_\_\_\_

**Figura N°25.** Reporte diario operacional en la caldera del Alto de Ochomogo, RECOPE.



## Anexo N°10. Estudio de emisiones de gases de la fuente Caldera



**Figura N°26.** Estudio de emisiones de gases de la chimenea de la caldera UB-415.

“Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero del Plantel El Alto en Ochomogo, RECOPE”

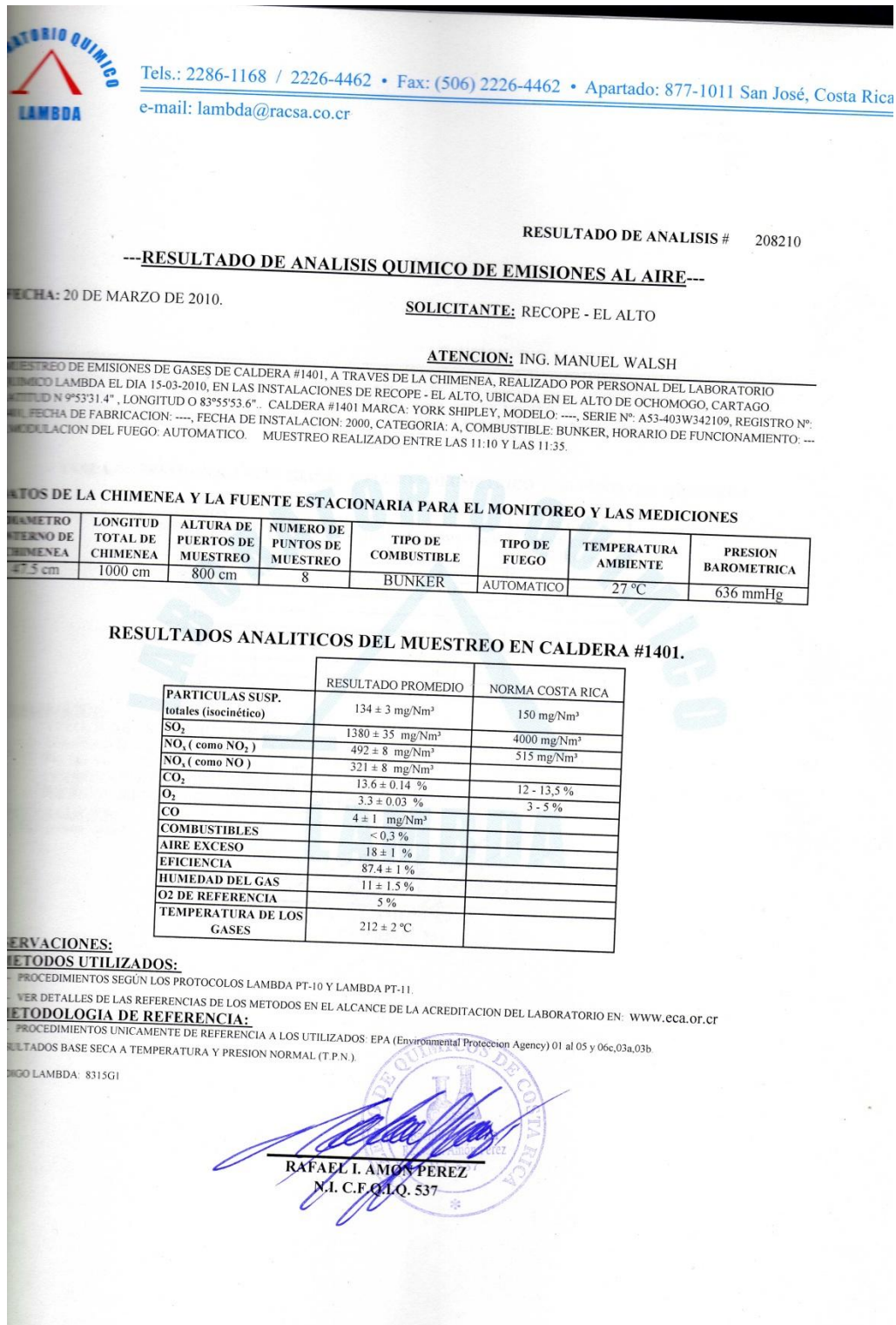
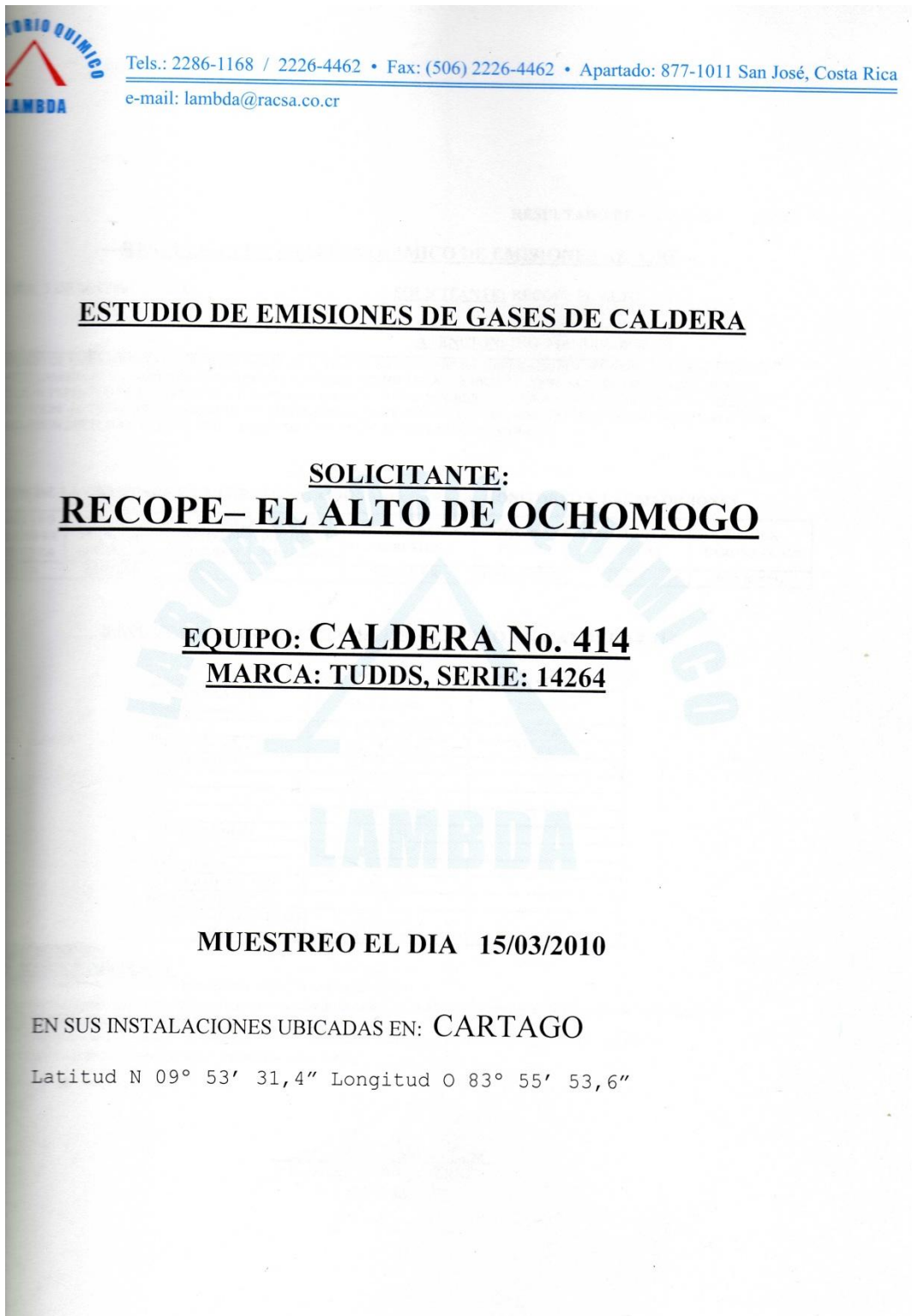


Figura N°24. Estudio de emisiones de gases de la chimenea de la caldera UB-415 (continuación)





**Figura N°27.** Estudio de emisiones de gases de la chimenea de la caldera UB-414.

“Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero del Plantel El Alto en Ochomogo, RECOPE”

Tels.: 2286-1168 / 2226-4462 • Fax: (506) 2226-4462 • Apartado: 877-1011 San José, C.  
e-mail: lambda@racsa.co.cr

**RESULTADO DE ANALISIS # 210543**

**---RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO DE EMISIONES AL AIRE---**

5 DE MAYO DE 2010. **SOLICITANTE:** RECOPE EL ALTO

**ATENCION:** ING. MANUEL WALSH

MUESTREO DE EMISIONES DE GASES DE CALDERA# 414, A TRAVES DE LA CHIMENEA, REALIZADO POR PERSONAL DEL LABORATORIO DE CALDERAS DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA, EN LAS INSTALACIONES DE RECOPE EL ALTO, UBICADA EN EL ALTO DE OCHOMOGO, CARTAGO. COORDENADAS: LONGITUD O 83°55'3 6". CALDERA# 414 MARCA: TUDDS, MODELO: ----, SERIE N°: 14264, REGISTRO N°: 414, FECHA DE INSTALACION: ---, FECHA DE INSTALACION: 1984, CATEGORIA: A, COMBUSTIBLE: BUNKER, HORARIO DE FUNCIONAMIENTO: 24 HORAS, REGULACION DEL FUEGO: AUTOMATICO. MUESTREO REALIZADO ENTRE LAS 9:05 Y LAS 9:44.

**CONDICIONES DE LA CHIMENEA Y LA FUENTE ESTACIONARIA PARA EL MONITOREO Y LAS MEDICIONES**

| ANCHO DE LA CHIMENEA | LONGITUD TOTAL DE LA CHIMENEA | ALTURA DE PUERTOS DE MUESTREO | NUMERO DE PUNTOS DE MUESTREO | TIPO DE COMBUSTIBLE | TIPO DE FUEGO | TEMPERATURA AMBIENTE | PRESION BAROMETRICA |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------|----------------------|---------------------|
| 100 cm               | 1000 cm                       | 700 cm                        | 12                           | BUNKER              | AUTOMATICO    | 25.7 °C              | 635 mmHg            |

**RESULTADOS ANALITICOS DEL MUESTREO EN CALDERA# 414.**

|   | RESULTADO PROMEDIO           | NORMA COSTA RICA        |
|---|------------------------------|-------------------------|
| PARTICULAS SUSP. totales (isocinético)  | 159 ± 2 mg/Nm <sup>3</sup>   | 150 mg/Nm <sup>3</sup>  |
| SO <sub>2</sub>                         | 1158 ± 29 mg/Nm <sup>3</sup> | 4000 mg/Nm <sup>3</sup> |
| NO <sub>x</sub> (como NO <sub>2</sub> ) | 506 ± 8 mg/Nm <sup>3</sup>   | 515 mg/Nm <sup>3</sup>  |
| NO <sub>x</sub> (como NO)               | 330 ± 8 mg/Nm <sup>3</sup>   |                         |
| CO <sub>2</sub>                         | 9 ± 0.09 %                   |                         |
| O <sub>2</sub>                          | 8.8 ± 0.09 %                 |                         |
| CO                                      | 15 ± 1 mg/Nm <sup>3</sup>    |                         |
| COMBUSTIBLES                            | < 0,3 %                      |                         |
| AIRE EXCESO                             | 68 ± 1 %                     |                         |
| EFICIENCIA                              | 79.7 ± 1 %                   |                         |
| HUMEDAD DEL GAS                         | 9.4 ± 1.5 %                  |                         |
| O <sub>2</sub> DE REFERENCIA            | 5 %                          |                         |
| TEMPERATURA DE LOS GASES                | 274 ± 3 °C                   |                         |

**CONDICIONES:**  
**MÉTODOS UTILIZADOS:**  
 MEDICIONES SEGÚN LOS PROTOCOLOS LAMBDA PT-10 Y LAMBDA PT-11.  
 MEDICIONES DE LAS REFERENCIAS DE LOS MÉTODOS EN EL ALCANCE DE LA ACREDITACION DEL LABORATORIO EN: WWW.ECA.ORG.CR  
**TECNOLOGIA DE REFERENCIA:**  
 MEDICIONES ÚNICAMENTE DE REFERENCIA A LOS UTILIZADOS EPA (Environmental Protection Agency) 01 al 05 y 06c, 03a, 03b.  
 MÉTODOS BASE SECA A TEMPERATURA Y PRESION NORMAL (T.P.N.)  
 ESTACION LAMBDA: 9338G

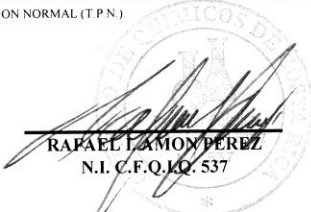
  
**RAFAEL LAMÓN PÉREZ**  
 N.I. C.F.Q.IQ. 537

Figura N°25. Estudio de emisiones de gases de la chimenea de la caldera UB-414 (continuación)



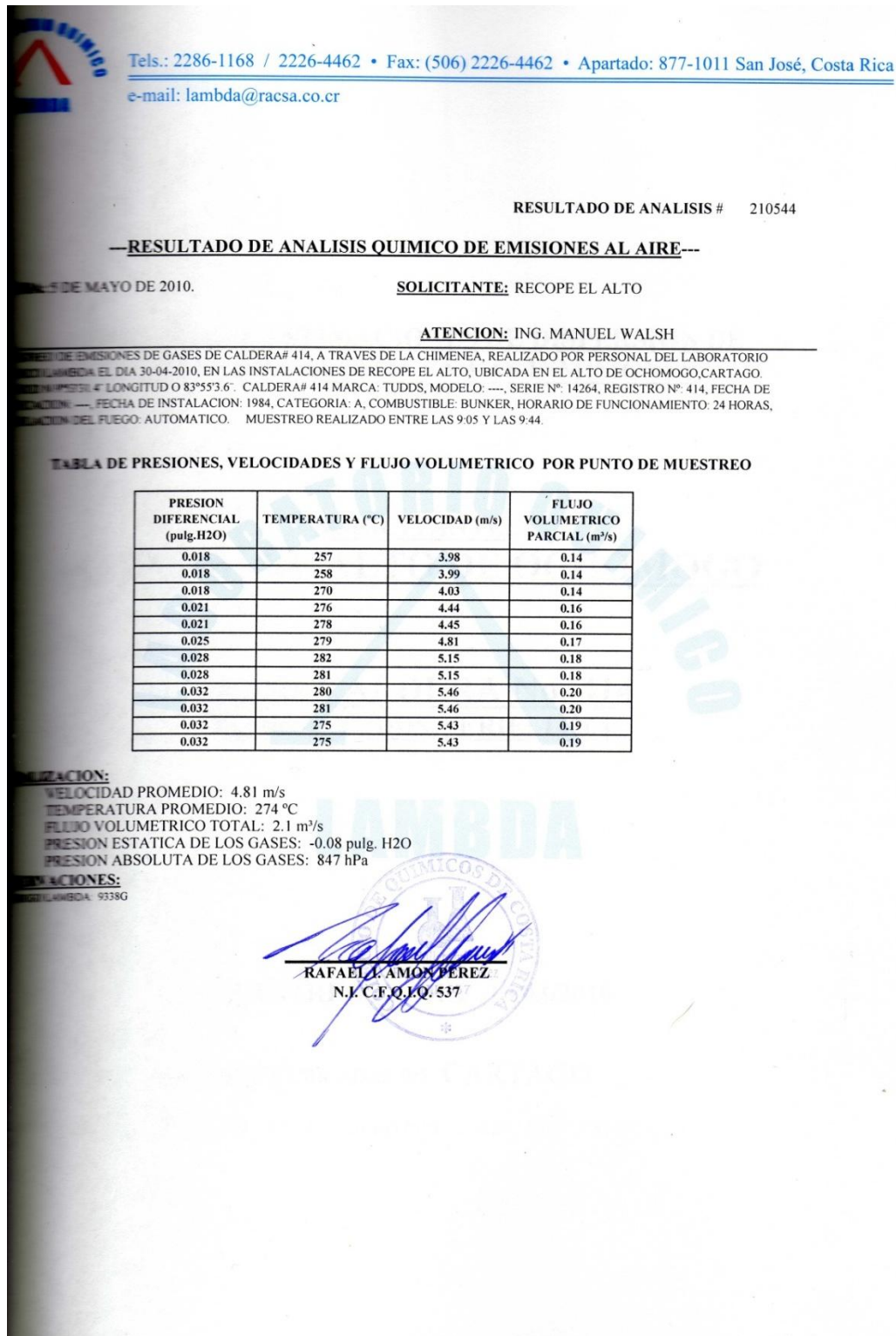


Figura N°25. Estudio de emisiones de gases de la chimenea de la caldera UB-414 (continuación)

**ESTUDIO DE EMISIONES DE GASES DE CALDERA**

**SOLICITANTE:**  
**RECOPE– EL ALTO DE OCHOMOGO**

**EQUIPO: CALDERA No. 1258**  
**MARCA: YORK SHIPLEY, SERIE: 683975H42540**

**MUESTREO EL DIA 15/03/2010**

**ENSUS INSTALACIONES UBICADAS EN: CARTAGO**

Latitud N 09° 53' 31,4" Longitud O 83° 55' 53,6"

**Figura N°28.** Estudio de emisiones de gases de la chimenea de la caldera UB-413.



Tels.: 2286-1168 / 2226-4462 • Fax: (506) 2226-4462 • Apartado: 877-1011 San José, C.  
e-mail: lambda@racsa.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS # 208213

**---RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO DE EMISIONES AL AIRE---**

FECHA: 20 DE MARZO DE 2010.

SOLICITANTE: RECOPE - EL ALTO

ATENCION: ING. MANUEL WALSH

MUESTREO DE EMISIONES DE GASES DE CALDERA #1258, A TRAVES DE LA CHIMENEA, REALIZADO POR PERSONAL DEL LABORATORIO QUIMICO LAMBDA EL DIA 15-03-2010, EN LAS INSTALACIONES DE RECOPE - EL ALTO, UBICADA EN EL ALTO DE OCHOMOGO, CARTAGO. LATITUD N 9°53'31.4", LONGITUD O 83°55'53.6".. CALDERA #1258 MARCA: YORK SHIPLEY, MODELO: ----, SERIE N°. 683975H42540, REGISTRO N°. 1258, FECHA DE FABRICACION: 1968, FECHA DE INSTALACION: 1994, CATEGORIA: B, COMBUSTIBLE: DIESEL, HORARIO DE FUNCIONAMIENTO: ---, MODULACION DEL FUEGO: AUTOMATICO. MUESTREO REALIZADO ENTRE LAS 12:45 Y LAS 13:11.

**DATOS DE LA CHIMENEA Y LA FUENTE ESTACIONARIA PARA EL MONITOREO Y LAS MEDICIONES**


| DIAMETRO INTERNO DE CHIMENEA | LONGITUD TOTAL DE CHIMENEA | ALTURA DE PUERTOS DE MUESTREO | NUMERO DE PUNTOS DE MUESTREO | TIPO DE COMBUSTIBLE | TIPO DE FUEGO | TEMPERATURA AMBIENTE | PRESION BAROMETRICA |
|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------|----------------------|---------------------|
| 26.5 cm                      | 570 cm                     | 220 cm                        | 8                            | DIESEL              | AUTOMATICO    | 27 °C                | 636 mmHg            |

**RESULTADOS ANALITICOS DEL MUESTREO EN CALDERA #1258.**

|  | RESULTADO PROMEDIO         | NORMA COSTA RICA        |
|--|----------------------------|-------------------------|
| PARTICULAS SUSP. totales (isocinético)   | 20 ± 2 mg/Nm <sup>3</sup>  | 175 mg/Nm <sup>3</sup>  |
| SO <sub>2</sub>                          | 142 ± 4 mg/Nm <sup>3</sup> | 4000 mg/Nm <sup>3</sup> |
| NO <sub>x</sub> ( como NO <sub>2</sub> ) | 128 ± 2 mg/Nm <sup>3</sup> | 515 mg/Nm <sup>3</sup>  |
| NO <sub>x</sub> ( como NO )              | 83 ± 2 mg/Nm <sup>3</sup>  |                         |
| CO <sub>2</sub>                          | 11 ± 0.11 %                | 12 - 13,5 %             |
| O <sub>2</sub>                           | 6.1 ± 0.06 %               | 3 - 5 %                 |
| CO                                       | 20 ± 1 mg/Nm <sup>3</sup>  |                         |
| COMBUSTIBLES                             | < 0,3 %                    |                         |
| AIRE EXCESO                              | 39 ± 1 %                   |                         |
| EFICIENCIA                               | 81.7 ± 1 %                 |                         |
| HUMEDAD DEL GAS                          | 10.4 ± 1.5 %               |                         |
| O <sub>2</sub> DE REFERENCIA             | 5 %                        |                         |
| TEMPERATURA DE LOS GASES                 | 293 ± 1 °C                 |                         |

**OBSERVACIONES:**

- **METODOS UTILIZADOS:**
  - PROCEDIMIENTOS SEGUN LOS PROTOCOLOS LAMBDA PT-10 Y LAMBDA PT-11.
  - VER DETALLES DE LAS REFERENCIAS DE LOS METODOS EN EL ALCANCE DE LA ACREDITACION DEL LABORATORIO EN: [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)
- **METODOLOGIA DE REFERENCIA:**
  - PROCEDIMIENTOS UNICAMENTE DE REFERENCIA A LOS UTILIZADOS: EPA (Environmental Protection Agency) 01 al 05 y 06c,03a,03b.
- RESULTADOS BASE SECA A TEMPERATURA Y PRESION NORMAL (T.P.N.).
- CODIGO LAMBDA: 8315G2

  
**RAFAEL J. AMÓN PÉREZ**  
 N.L.C.F.Q.1.Q.537

**Figura N°26.** Estudio de emisiones de gases de la chimenea de la caldera UB-414 (continuación)

“Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero del Plantel El Alto en Ochoмого, RECOPE”



Tels.: 2286-1168 / 2226-4462 • Fax: (506) 2226-4462 • Apartado: 877-1011 San José, Costa Rica  
 e-mail: lambda@racsa.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS # 208214

**---RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO DE EMISIONES AL AIRE---**

FECHA: 20 DE MARZO DE 2010.

SOLICITANTE: RECOPE - EL ALTO

ATENCION: ING. MANUEL WALSH

MUESTREO DE EMISIONES DE GASES DE CALDERA #1258, A TRAVES DE LA CHIMENEA, REALIZADO POR PERSONAL DEL LABORATORIO QUIMICO LAMBDA EL DIA 15-03-2010, EN LAS INSTALACIONES DE RECOPE - EL ALTO, UBICADA EN EL ALTO DE OCHOMOGO, CARTAGO. LATITUD N 9°53'31.4" , LONGITUD O 83°55'53.6" . CALDERA #1258 MARCA: YORK SHIPLEY, MODELO: ----, SERIE N°: 683975H42540, REGISTRO N°: 1258, FECHA DE FABRICACION: 1968, FECHA DE INSTALACION: 1994, CATEGORIA: B, COMBUSTIBLE: DIESEL, HORARIO DE FUNCIONAMIENTO: ---, MODULACION DEL FUEGO: AUTOMATICO. MUESTREO REALIZADO ENTRE LAS 12:45 Y LAS 13:11.

**TABLA DE PRESIONES, VELOCIDADES Y FLUJO VOLUMETRICO POR PUNTO DE MUESTREO**

| PRESION DIFERENCIAL (pulg.H2O) | TEMPERATURA (°C) | VELOCIDAD (m/s) | FLUJO VOLUMETRICO PARCIAL (m³/s) |
|--------------------------------|------------------|-----------------|----------------------------------|
| 0.162                          | 291              | 12.41           | 0.09                             |
| 0.158                          | 293              | 12.30           | 0.08                             |
| 0.155                          | 293              | 12.16           | 0.08                             |
| 0.137                          | 293              | 11.45           | 0.08                             |
| 0.137                          | 293              | 11.45           | 0.08                             |
| 0.137                          | 294              | 11.46           | 0.08                             |
| 0.141                          | 293              | 11.60           | 0.08                             |
| 0.137                          | 294              | 11.46           | 0.08                             |

**TOTALIZACION:**

VELOCIDAD PROMEDIO: 11.79 m/s  
 TEMPERATURA PROMEDIO: 293 °C  
 FLUJO VOLUMETRICO TOTAL: 0.7 m³/s  
 PRESION ESTATICA DE LOS GASES: 1.41 pulg. H2O  
 PRESION ABSOLUTA DE LOS GASES: 852 hPa

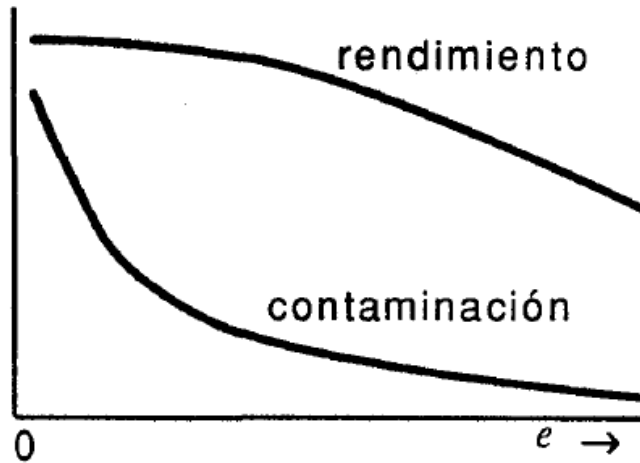
**OBSERVACIONES:**

- CODIGO LAMBDA: 8315G2

RAFAEL I. AMÓN PÉREZ  
 N.I. C.F.Q.I.Q. 597

**Figura N°26.** Estudio de emisiones de gases de la chimenea de la caldera UB-414 (continuación)

**Anexo N°11. Rendimiento energético y de la contaminación global en función del exceso de aire  $e$ .**



**Figura N°29.** Variación del rendimiento energético y de la contaminación global en función del exceso de aire  $e$  en calderas y hornos.

*Fuente: (Martínez, 1992)*

## Anexo N°12. Ubicación de la Finca Torito.



**Figura N°30.** Ubicación de la Finca Torito.

*Fuente: Departamento de Topografía Plantel El Alto*

Anexo N°13. Plano Finca Torito.

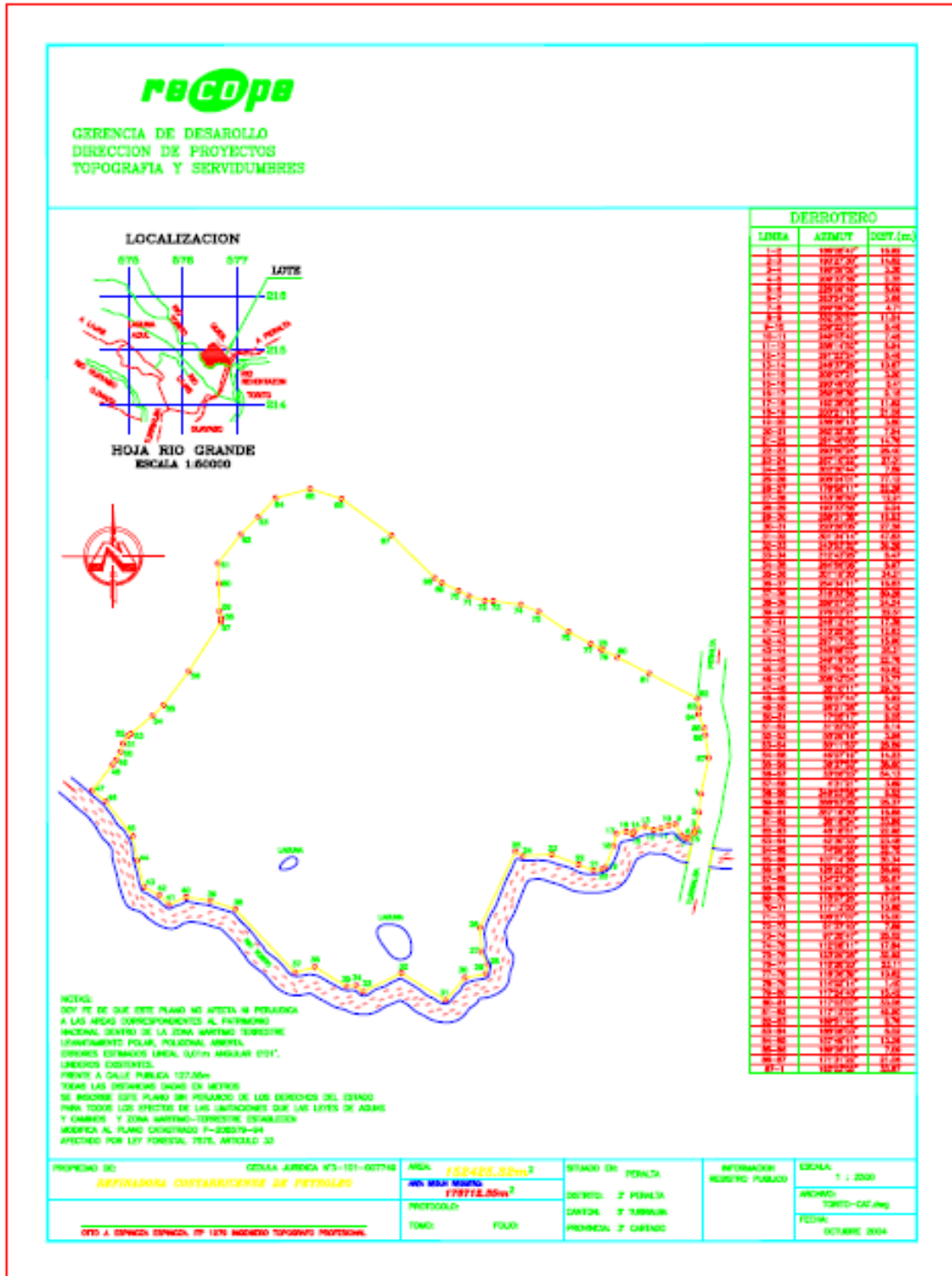


Figura N°31. Plano Finca Torito.

Fuente: Departamento de Topografía Plantel El Alto

**Anexo N°14. Fotos de la Finca Torito.**



**Figura N°32.** Fotos de la Finca Torito en Peralta de Turrialba.

*Fuente: Departamento de Topografía Plantel El Alto*