



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

## **ÁREA BIOLÓGICA**

### **TÍTULO DE INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**Valorización y aprovechamiento energético por coprocesamiento de aceites automotrices usados en hornos cementeros en la Planta Industrial de UNACEM en Otavalo (Ecuador)**

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Ubidia Calderón, Henry Carlos

DIRECTOR: Arévalo Torres, Ricardo Javier, Mgtr.

CENTRO UNIVERSITARIO IBARRA

2016

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

M. Sc.

Ricardo Javier Arévalo Torres

**DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **“Valorización y aprovechamiento energético por coprocesamiento de aceites automotrices usados en hornos cementeros en la Planta Industrial de UNACEM en Otavalo (Ecuador)”** realizado por Henry Carlos Ubidia Calderón ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Septiembre de 2016

.....

M.Sc. Ricardo Javier Arévalo Torres

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Henry Carlos Ubidia Calderón declaro ser autor del presente trabajo de titulación: **“Valorización y aprovechamiento energético por coprocesamiento de aceites automotrices usados en hornos cementeros en la Planta Industrial de UNACEM en Otavalo (Ecuador)”**, de la Titulación de Gestión Ambiental, siendo el M. Sc. Ricardo Javier Arévalo Torres director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posible reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

.....

Autor: Ubidia Calderón Henry Carlos

Cédula No. 1001620887

## DEDICATORIA

La realización de este proyecto de investigación la dedico a:

- Mi esposa Margarita, quien ha compartido amorosamente conmigo tiempos de alegrías y tristezas y que no me dejó caer ante las adversidades.
- Mis hijos, Carlos y María Emilia, para quienes siempre he tratado de ser un ejemplo a seguir.
- Mi madre Guadalupe, porque con su esfuerzo supo hacer de mí una persona honorable.
- A mis hermanos, suegros, cuñados y sobrinos, que siempre me han apoyado incondicionalmente.

Henry Ubidia C.

## **AGRADECIMIENTO**

Mis agradecimientos son para:

- Dios, por siempre acompañarme en el camino de la vida.
- Al Mgtr. Ricardo Javier Arévalo Torres director del Trabajo de Titulación, por su guía y asesoramiento incondicional para que el presente proyecto llegue a feliz término.
- A los funcionarios de UNACEM Cementos por su colaboración en el proyecto de titulación.
- Un agradecimiento muy especial a la Universidad Técnica Particular de Loja.

Henry Ubidia C.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Portada.....	I
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VI
Índice de Tablas.....	VIII
Índice de Figuras.....	X
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	6
General.....	6
Específicos.....	6
CAPÍTULO 1.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
1.1. La Industria del Cemento.....	8
1.1.1. Generalidades.....	8
1.1.2. El Cemento.....	9
1.1.3. Proceso Productivo de la Fabricación del Cemento en UNACEM Ecuador S.A.....	12
1.1.4. Aspectos ambientales de la fabricación de cemento.....	27
1.2. Gestión de Residuos.....	29
1.2.2. Desechos peligrosos.....	30
1.2.3. Jerarquía de Gestión de Residuos.....	34
1.2.4. Principios Generales para el Coprocesamiento.....	36
1.3. Coprocesamiento y valorización energética de residuos peligrosos en la industria cementera.....	37
1.3.1. Valorización energética.....	37
1.3.2. Coprocesamiento de residuos peligrosos.....	40
1.3.3. Principios del coprocesamiento en la fabricación de cemento.....	41
1.3.4. Residuos Excluidos para el Co-procesamiento.....	43
1.3.5. Coprocesamiento de los desechos peligrosos en hornos de cemento.....	44
1.4. Aceites usados o de desecho.....	52
1.4.1. Riesgos para la salud y el medio ambiente asociados a los aceites usados.....	53
1.4.2. Consumo y disposición de aceite automotriz en Ecuador.....	54
1.4.3. Características de los aceites usados.....	57
1.4.4. Composición de los aceites usados.....	58
1.4.5. Alternativas de Gestión Integral de los Aceites Usados.....	60
1.4.6. Valorización energética de los aceites usados.....	60
1.4.7. Limitaciones a la sustitución con combustibles alternativos.....	61
CAPÍTULO 2.....	63
METODOLOGÍA.....	63
2.1. Diseño Metodológico.....	64
2.1.1. Tipo de Investigación.....	64
2.1.2. Metodología seguida.....	64
2.2. Actividades a realizar.....	66
2.3. Hipótesis.....	66
2.3.1. Hipótesis de Investigación.....	66
2.3.2. Hipótesis Nula.....	67

2.3.3. Variables.....	67
2.4. Localización geográfica y político-administrativa de UNACEM ECUADOR SA.....	67
2.5. Técnicas e Instrumentos.....	68
2.6. Alcance del Programa de Pruebas.....	70
2.6.1. Muestreo y procedimientos analíticos.....	71
2.6.2. Puntos donde se realiza el monitoreo de emisiones.....	72
2.7. Muestra.....	73
2.7.1. Material Particulado, SO <sub>2</sub> y NO <sub>x</sub> .....	73
2.7.2. Amoníaco, Benceno, Suma de Metales, Cadmio, Talio, Mercurio, Dioxinas y Furanos.....	73
2.7.3. Compuestos Orgánicos Volátiles.....	73
2.8. Volúmenes a Coprocesar.....	74
2.9. Comprobación de la Hipótesis.....	74
CAPÍTULO 3.....	75
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	75
3.1. Proyecto de Coprocesamiento de aceites usados en UNACEM Ecuador S.A. ....	76
3.1.1. Criterios para la implementación.....	76
3.1.2. Etapas del proceso de coprocesamiento de “aceites usados” en los hornos de UNACEM Ecuador S.A. ....	77
3.1.3. Condiciones de aceptación del aceite usado.....	84
3.1.4. Acopiadores y proveedores de aceite usado.....	86
3.1.5. Impactos Ambientales.....	86
3.1.6. Calificación y Evaluación de Impactos Ambientales.....	87
3.1.7. Procedimiento de Análisis.....	93
3.1.8. Descripción y análisis de los impactos identificados.....	104
3.2. Comparación de la situación anterior y la situación con Coprocesamiento.....	108
3.3. Análisis de las factibilidades legal – ambiental, técnica y económica del proyecto de valorización energética del aceite usado en coprocesamiento en los hornos cementeros de UNACEM Ecuador S.A. ....	109
3.3.1. Análisis de la factibilidad Legal - Ambiental.....	109
3.3.2. Análisis de la factibilidad Técnica.....	125
3.3.3. Determinación de la Factibilidad Técnica por medio de la Fiabilidad de los hornos.....	134
3.3.4. Factibilidad Económica.....	138
3.4. Interpretación de resultados.....	142
3.4.1. Gestión del desecho peligroso.....	142
3.4.2. Factibilidad económica.....	142
3.4.3. Factibilidad técnica.....	142
3.4.2. Factibilidad legal ambiental.....	142
CAPÍTULO 4.....	145
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	145
CONCLUSIONES.....	146
RECOMENDACIONES.....	149
LISTA DE REFERENCIAS.....	151
ANEXOS.....	159
Anexo 1.....	159
Anexo 2.....	165
Anexo 3.....	171
Anexo 4.....	187

## Índice de Tablas

TABLAS	PÁGINAS
Tabla 1: Composición mineralógica del clínker. ....	11
Tabla 2: Capacidad de almacenamiento de materias primas. ....	15
Tabla 3: Rangos de dosificación de la materia prima. ....	16
Tabla 4: Características de los molinos de Crudo. ....	18
Tabla 5: Características de los Filtros. ....	18
Tabla 6: Características del silo de homogenización. ....	18
Tabla 7: Características de los equipos de pre calentamiento. ....	19
Tabla 8: Especificaciones técnicas de los hornos de clínker. ....	22
Tabla 9: Parámetros principales de Operación de los hornos. ....	23
Tabla 10: Capacidad de producción de clínker de los hornos. ....	24
Tabla 11: Características de los enfriadores. ....	25
Tabla 12: Relación de dosificación. ....	26
Tabla 13: Características de los molinos de cemento. ....	27
Tabla 14: Códigos de peligrosidad de los residuos. ....	31
Tabla 15: Listado de residuos no co-procesables. ....	44
Tabla 16: Límites máximos de concentraciones de emisión al aire para la producción de cemento (mg/Nm <sup>3</sup> ) (Sin Coprocesamiento). ....	49
Tabla 17: Valores límite de emisión para coprocesamiento de residuos en hornos cementeros. ....	50
Tabla 18: Dioxinas y Furanos y PCBs coplanares (no-orto y mono-orto) de tipo Dioxinas. ...	51
Tabla 19: Composición de un aceite lubricante. ....	59
Tabla 20: Matriz de Análisis de Laboratorio. ....	71
Tabla 21: Factores Ambientales que podrían ser afectados. ....	87
Tabla 22: Matriz de interacción causa efecto. ....	89
Tabla 23: Valores asignados a cada variable. ....	93
Tabla 24: Valoración del impacto. ....	95
Tabla 25: Severidad de los impactos. ....	95
Tabla 26: Matriz de Intensidad de Impactos. ....	96
Tabla 27: Matriz de extensión de impactos. ....	97
Tabla 28: Matriz de duración de impactos. ....	98
Tabla 29: Matriz de Reversibilidad de Impactos. ....	99
Tabla 30: Matriz de probabilidad de Impactos. ....	100
Tabla 31: Matriz de Magnitud de Impactos. ....	101
Tabla 32: Matriz de importancia de los impactos. ....	102
Tabla 33: Matriz de Severidad de los impactos. ....	103
Tabla 34: Comparación del proceso con coprocesamiento. ....	109
Tabla 35: Resultados de las emisiones gaseosas Horno 1 (2015). ....	113
Tabla 36: Resultados de las emisiones gaseosas Horno 2 (2015) ....	114
Tabla 37: Línea Base de emisiones gaseosas. ....	115
Tabla 38: Resultados de los monitoreos de emisiones en los hornos. ....	119
Tabla 39: Totales del Horno 1. ....	120
Tabla 40: Totales del Horno 1. ....	120
Tabla 41: Tiempo de utilización de los hornos. ....	123
Tabla 42: Parámetros de calidad del aceite usado. ....	127
Tabla 43: Mix de combustibles. ....	128
Tabla 44: Relación entre porcentajes altos (> 70%) de sustitución de aceite usado con el valor de las emisiones de polvo. ....	130
Tabla 45: Relación entre la ausencia de inyección de aceite usado con el valor de las	

---

emisiones de polvo. ....	131
Tabla 46: Fiabilidad del horno 1. ....	135
Tabla 47: Fiabilidad del horno 2. ....	135
Tabla 48: Tipos de paros incidentales del Horno 1. ....	136
Tabla 49: Tipos de paros incidentales del Horno 2. ....	137
Tabla 50: Síntesis de las causas aparentes de los paros incidentales de producción del Horno 1. ....	137
Tabla 51: Consumo anual de combustibles en los hornos cementeros de UNACEM Ecuador. ....	138
Tabla 52: Costo de los combustibles utilizados. ....	139
Tabla 53: Poder calórico de los combustibles. ....	140
Tabla 54: Precio comparativo de la tonelada de combustible. ....	140
Tabla 55: Cálculo del costo de la unidad de energía calórica de los combustibles. ....	141
Tabla 56: Costo de la energía calórica aportada por cada combustible. ....	141
Tabla 57: Horno 1 Diario. ....	159
Tabla 58: Horno 2 Diario. ....	165

---

## Índice de Figuras

---

FIGURAS	PÁGINAS
Figura 1: Diagrama de flujo de la fabricación de cemento en UNACEM Ecuador .....	13
Figura 2: Filtros electrostáticos (Electrofiltros) para la recuperación de partículas sólidas. ..	17
Figura 3: Torres de Pre calentamiento. ....	20
Figura 4: Tipos de emisiones. ....	28
Figura 5: Jerarquía de Gestión de Residuos. ....	35
Figura 6: Disposición del aceite automotriz .....	55
Figura 7: Disposición final del aceite usado en Ecuador en porcentaje. ....	56
Figura 8: Disposición Final del aceite usado expresado en galones. ....	57
Figura 9: Puertos para monitoreo y sensores de controladores de emisiones gaseosas en chimeneas de los hornos. ....	72
Figura 10: Relación entre el porcentaje de aceite usado y las emisiones del Horno 1. ....	121
Figura 11: Relación entre el porcentaje de aceite usado y las emisiones fuera de norma del Horno 1. ....	122
Figura 12: Relación entre el porcentaje de aceite usado y las emisiones del Horno 2. ....	124
Figura 13: Mix de combustibles del horno 1. ....	129
Figura 14: Porcentaje de aceite usado. ....	130
Figura 15: Relación entre porcentajes altos de uso de aceite con la cantidad de emisiones de polvo. ....	131
Figura 16: Cantidad de emisiones de polvo sin aceite usado. ....	132
Figura 17: Porcentaje de aceite usado. ....	133
Figura 18: Distribución de los combustibles en el mix. ....	133

---

## RESUMEN

Esta investigación se llevó a cabo en la fábrica de cemento de UNACEM Ecuador S.A, ubicada en la ciudad de Otavalo (Imbabura – Ecuador). El proyecto, “Valorización y aprovechamiento energético por coprocesamiento de aceites automotrices usados en hornos cementeros” considera la utilización de aceites de motor degradados como combustible alternativo.

El objetivo fue el de evaluar la factibilidad técnica y legal – ambiental de la utilización del aceite degradado como alternativa de sustitución de combustibles fósiles en los hornos cementeros.

Para lograr esto, la investigación fue desarrollada en cuatro fases: recolección de datos con los diferentes porcentajes de inyección de aceite usado, evaluación de los parámetros de operación, descripción del proyecto y el estudio de las factibilidades.

Como resultado de la investigación se comprobó que la utilización del aceite automotriz como combustible en los hornos cementeros fue viable desde la perspectiva legal-ambiental, porque los valores de las emisiones en las chimeneas se encuadraron dentro de los requerimientos legales ambientales que dicta la Norma Técnica de Coprocesamiento de desechos peligrosos que rige la actividad. La factibilidad técnica se pudo demostrar comparando las fiabilidades y rendimientos de los hornos obtenidos en los años anteriores y posteriores a la implementación del proyecto. Económicamente el uso del desecho peligroso como combustible alternativo, originó un ahorro de alrededor de un millón de dólares en los rubros destinados a la compra de combustibles líquidos fósiles.

**PALABRAS CLAVES:** Coprocesamiento, desechos peligrosos, dioxinas, furanos, valorización,

## **ABSTRACT**

This investigation took place in the cement factory of UNACEM Ecuador S.A, located in Otavalo (Imbabura – Ecuador). The project, "Alternative of Valuation and energetic utilization for coprocessing of self-propelling oils used in cement kilns" considers the utilization of oils used as alternative fuel.

The objective was to evaluate the technical and legal-environmental feasibility of the utilization of the degraded oils as alternative of substitution of fossil fuels fuel for cement kilns.

To accomplish this, the investigation was developed in four stages: data collection with different percentages of used oils, determination of the parameters to evaluate, project description and feasibilities study.

As a result of the investigation verified that the utilization of the self-propelling as combustible oil in the cement kilns was viable from the legal - environmental perspective, because the value of emissions from the chimneys was fitted inside the environmental legal requirements dictated Coprocessing Technical Standard overning hazardous that governs the activity. The technical feasibility could be demonstrated comparing the reliabilities and performances of the kilns obtained in the years previous and later to the implementation of the project. Economically the use of the dangerous waste as alternative fuel, originated a saving of about a million dollars in the items destined for the purchase of fossil fuels.

**KEY WORDS:** Coprocesamiento, dangerous waste, dioxinas, furanos, valuation.

## INTRODUCCIÓN

En Ecuador, la actividad de coprocesamiento en hornos cementeros está normada legalmente desde el 13 de Mayo del 2011 cuando el Ministerio del Ambiente expide la Norma Técnica para el Coprocesamiento de Desechos peligrosos en hornos cementeros que establece “los requerimientos, condiciones y los límites máximo permisibles de emisión, bajo los cuales se debe realizar el coprocesamiento de desechos peligrosos en hornos de producción de clínker de plantas cementeras, mediante la sustitución de combustible o materia prima tradicional por desechos peligrosos empleados como combustible y materia prima alternativos” (Ministerio del Ambiente, MAE, 2011. p. 4).

La valorización energética de los aceites usados para su uso en coprocesamiento en los hornos de clínker en el país es una práctica común pero fuera de la ley. Esta sería la primera de las experiencias empresariales que lo haga regida bajo una Licencia Ambiental otorgada por el Ministerio del Ambiente a favor de UNACEM Ecuador S.A.

UNACEM Ecuador, con su Planta industrial localizada en Otavalo, provincia de Imbabura; como parte de su política corporativa de cuidado del medio ambiente, disminución del consumo de energéticos y de reducción de costos operacionales en la producción de clínker, tiene como objetivo la utilización de desechos peligrosos (aceite usado automotriz) como combustible en sus hornos.

El proyecto de investigación considera la alimentación de aceites usados como combustible alternativo inyectado a través de los quemadores en los hornos cementeros. El porcentaje de sustitución que se pretende alcanzar, una vez que entre en operación el proyecto “Valorización energética de aceites automotrices usados en hornos rotatorios cementeros en la Planta Industrial de UNACEM Ecuador en Otavalo” será de al menos 18%; pero durante el inicio de operaciones del proyecto, este valor no será constante y podría presentar fluctuaciones entre 0 y 30%.

Cabe hacer mención que los residuos líquidos serán recibidos de gestores ambientales calificados dedicados al manejo de este tipo de materiales y deberán cumplir con especificaciones técnicas y legales en su manejo para su posterior entrega en las instalaciones de la planta industrial.

El implementar y operar el proyecto en el interior de la Planta de Otavalo no alterará ni modificará el ambiente que rodea a las instalaciones de la misma planta. Los únicos impactos relevantes que pudieran originarse por la operación del proyecto son las emisiones a la atmósfera que se originan por el consumo de combustibles de recuperación y formulados como sustituto del combustible convencional en la operación del horno cementero.

El Capítulo I de Fundamento Teórico es la recopilación bibliográfica en que se basa el proyecto. Se han tratado temas que nos ayudaron a tener una visión más clara de cómo es el proceso de fabricación del cemento en UNACEM Ecuador, la Gestión de Residuos y desechos urbanos con énfasis en los conceptos de Coprocesamiento y de Valorización energética de los aceites automotrices usados catalogados por la Legislación Ambiental como desechos peligrosos y su utilización como combustibles alternativos en los hornos cementeros.

Se incluye también un breve estudio de la cantidad y utilización del aceite automotriz en el Ecuador y la disposición final del mismo. Adicionalmente se incorporan en el capítulo, los niveles máximos de las emisiones que se deben cumplir dentro de la normativa legal ambiental ecuatoriana y una descripción del proyecto implementado.

Especial atención se da a la realización de las matrices de interacción de las actividades del proyecto con los factores ambientales y a la valoración de los impactos ambientales.

El Capítulo II describe el diseño metodológico utilizado para realizar la investigación, las hipótesis planteadas, las variables, las técnicas e instrumentos necesarios para el desarrollo de la investigación.

El Capítulo III de Resultados y Conclusiones se expone las respuestas a cada uno de los objetivos del proyecto mediante la interpretación de los datos obtenidos en el proceso y su comparación con la normativa legal vigente mediante tablas y gráficos.

Los beneficios que se obtendrán por la puesta en marcha de este proyecto son fundamentalmente del tipo económico y ambiental, entre los más importantes tenemos:

- Optimización de la recuperación energética contenida en los residuos.
- Reducción de la cantidad de residuos peligrosos depositados en vertederos.

- Reducción del uso de combustibles no renovables (pet coque y residuo de petróleo)
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, fundamentalmente por la sustitución de combustibles fósiles.
- Correcta gestión de algunos tipos de residuos peligrosos.
- Mejora en el desempeño operacional de la planta en la producción de clínker.
- Reducción del coste de consumo de energía térmica.
- Un ahorro en el consumo de combustibles no renovables.

El presente estudio comprende los siguientes aspectos:

- Descripción de los aspectos generales sobre los tipos y la gestión de residuos y la utilización de aceite automotriz como combustible alternativo en plantas cementeras. Se recogen los aspectos más importantes en relación con la valorización energética de los residuos en las plantas de clínker.
- No se analizan los aspectos técnicos ni tecnológicos relacionados con la idoneidad de las instalaciones de clínker de la Planta de UNACEM en Otavalo, Ecuador para el uso de residuos como combustibles alternativos.
- Análisis de las posibilidades de valorización de aceites usados en la Planta Industrial de UNACEM Ecuador, en cuanto al cumplimiento de la normativa legal que rige el coprocesamiento de residuos peligrosos en hornos cementeros.
- Análisis de costos para determinar factibilidad económica del proyecto.

El alcance geográfico del proyecto, estará dado por las áreas de la Empresa UNACEM Cementos S.A. relacionadas en el coprocesamiento de desechos peligrosos, específicamente de aceite usado, en los dos hornos de Clinker, así como a su área de influencia directa e indirecta.

A lo largo de la puesta en marcha de este proyecto, se evidenciaron barreras principalmente en el aspecto económico, como también en lo operativo y adquisición de equipos, y fue necesario, en algunos casos, adecuar la estructura industrial de la empresa, para alcanzar los objetivos de sustitución de combustibles fósiles planteados en el proyecto.

El apoyo dado por los personeros de UNACEM fue decisivo para que este proyecto pueda ser realizado.

## **OBJETIVOS**

### **General.**

Proponer una Alternativa de Valorización y aprovechamiento energético por coprocesamiento de aceites automotrices usados en los hornos cementeros en la Planta Industrial de UNACEM Ecuador en Otavalo.

### **Específicos.**

- Demostrar la viabilidad legal-ambiental del proyecto de sustitución de combustible fósil por desechos peligrosos empleados como combustible alternativo.
- Demostrar la viabilidad técnica y económica del proyecto en cuanto al aprovechamiento energético de los “aceites usados”.

## **CAPÍTULO 1**

### **MARCO TEÓRICO**

## **1.1. La Industria del Cemento.**

### **1.1.1. Generalidades.**

A nivel mundial, el descontrolado crecimiento demográfico, la concentración de la población y la intensiva producción ha generado el incremento de residuos generados por el hombre, lo que se está convirtiendo en un grave dilema para la sociedad.

El aumento en la producción de residuos o desechos es uno de los problemas más acuciantes de nuestra sociedad actual, debido a la dificultad cada vez más notoria de la gestión de los mismos y por el impacto ambiental que produce. Los contaminantes de efecto invernadero y el calentamiento global, el uso eficiente de los combustibles fósiles no renovables, los residuos peligrosos y la contaminación del agua y de los recursos del suelo, actualmente, son las principales preocupaciones ambientales y motivo de discusiones públicas.

Es absolutamente necesario un enfoque preventivo en la gestión de residuos y hacia él deben dirigirse los esfuerzos de todos los sectores de la sociedad. La Legislación Local, Provincial y Nacional debe apostar por una gestión que favorezca la minimización y la valorización frente a la eliminación de los residuos.

La Gestión de los residuos supone una serie de obligaciones y responsabilidades para aquellos sectores que están inmersos en el tema. En Ecuador, parte de los residuos originados son recolectados y destinados a vertederos controlados (rellenos sanitarios). “Los residuos que no son recolectados y transportados, son quemados y vertidos sin ningún tipo de control, contaminando el medio ambiente y poniendo en peligro la salud de la comunidad” (Simon-Vermot, 2010.p.4).

La Jerarquía de Gestión de los residuos plantea la necesidad de tomar acciones frente al uso desmedido del vertedero como opción para el tratamiento final de los residuos urbanos. Frente a esta situación, la valorización energética se considera como la más adecuada cuando ya se han agotado las posibilidades de reutilización, reciclado y valorización material.

El Instituto para la Sostenibilidad de los Recursos, (2016) indica que “tradicionalmente, las plantas de producción de clínker han utilizado distintos tipos de residuos industriales,

tanto como combustibles alternativos como en sustitución de materias primas; entre los primeros, los más habituales han sido los residuos líquidos, como los aceites usados, los restos y lodos de disolventes orgánicos no clorados y diferentes residuos procedentes de las industrias petroquímica y farmacéutica; también se han utilizado otros residuos sólidos o pastosos como los lodos de fabricación y aplicación de pinturas y barnices y los lodos de diferentes procesos químicos orgánicos”.

Esta sustitución se ha basado tanto en la capacidad intrínseca de los hornos de clínker para la valorización energética de estos residuos dentro de un marco de completa garantía ambiental como por la facilidad de manejo de los mismos, tanto en el acopio y almacenamiento de los mismos, como en la introducción al proceso.

La industria cementera, por las condiciones especiales de su proceso, se presenta como una opción interesante para la incorporación de combustibles alternativos en los hornos de producción de clínker.

Las experiencias de otras Plantas Cementeras del mundo, en cuanto a la utilización de combustibles alternativos, pueden abrir las puertas para que estas prácticas sean replicadas en el Ecuador.

### **1.1.2. El Cemento.**

El cemento es un material inorgánico, no metálico, finamente molido que en presencia del agua forma una pasta que fragua y se endurece con el tiempo, al aire. Incluso se endurece bajo el agua por lo que es un aglomerante hidráulico y desarrolla las resistencias por cristalización.

Este endurecimiento hidráulico se debe principalmente a la hidratación de silicatos de calcio como resultado de una reacción entre el agua y los constituyentes del cemento. Esta propiedad le ha convertido en un material básico para la edificación y la ingeniería civil. Su principal propiedad es la de formar masas pétreas resistentes y duraderas cuando se mezcla con áridos y agua. El endurecimiento (fraguado) de la mezcla ocurre transcurrido un cierto tiempo desde el momento en que se realiza la mezcla, lo que permite dar forma (moldear) la piedra artificial resultante. Estas tres cualidades (moldeables, resistentes, duraderas) hacen que los productos derivados del cemento tengan una gran aplicación en la construcción de infraestructuras y otros elementos constructivos.

“Dosificado y mezclado apropiadamente con agua y áridos, produce hormigón o mortero que conserva su trabajabilidad durante un tiempo suficiente, alcanza unos niveles de resistencias preestablecidos y presenta una estabilidad de volumen a largo plazo (Pastrana G., 2016)

La producción de cemento consiste en el calentamiento, la calcinación y la clínquerización de una mezcla dosificada de materiales calcáreos y arcillosos, comúnmente, piedra caliza y arcilla.

Las materias primas están compuestas de elementos naturales provenientes de las canteras y algunas veces son subproductos industriales que luego de ser dosificadas son molidas finamente transformándose en crudo o harina de crudo.

Un crudo está formado por:

- 67% de Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ),
- 22% de Sílice ( $\text{SiO}_2$ ),
- 5% de Aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- 3% de Hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y
- 3% de otros componentes (Sodio, Potasio, Azufre). (UNACEM, 2015).

Se necesita una tonelada de crudo para producir 0.65 toneladas de clínker debido a que aproximadamente el 35% del crudo está representado por la masa del  $\text{CO}_2$ . Este volumen perdido se denomina Pérdida al Fuego.

El crudo, después de ser cocido en los hornos cementeros a  $1450^\circ\text{C}$ , se transforma en clínker cuyos componentes son:

Tabla 1: Composición mineralógica del clínker.

Nombre	Símbolo Abreviado	Fórmula Química	Porcentaje
Silicato Tricálcico o Alita	C <sub>3</sub> S	(CaO) <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	72
Silicato Bicálcico o Belita	C <sub>2</sub> S	(CaO) <sub>2</sub> SiO <sub>2</sub>	9
Aluminato Tricálcico	C <sub>3</sub> A	(CaO) <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,5
Ferroaluminato Tetracálcico	C <sub>4</sub> AF	(CaO) <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,5

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Lo que actualmente denominamos cemento "Portland" es el producto que procede de la molienda del clínker obtenido por calcinación a unos 1.450°C en hornos cementeros, de una mezcla de carbonato de calcio con óxidos de hierro, sílice y aluminio. En la molienda final se adiciona una pequeña cantidad de yeso como regulador del fraguado. (Ruiz L., M. 2007).

El consumo y la producción de cemento están ligados directamente a la actividad constructiva (pública y privada) en cada momento, y por lo tanto sigue una evolución muy pareja a la situación económica general.

La producción mundial de cemento ha crecido progresivamente desde comienzos de los años 50, en especial en Asia, que cuenta con la mayor parte del crecimiento en la producción mundial de cemento en los años 90.

Según las estimaciones, "el consumo de cemento en el mundo alcanzará los 3,4 millones de toneladas en 2020, con los incrementos correspondientes en energía, materias primas necesarias y emisiones de contaminantes" (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2011, p. 11).

El Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos, (2012) en su informe económico menciona que existen 15 países que lideran la producción mundial de cemento, destacándose China en el primer lugar. En el segundo y tercer puesto se ubican India e Irán respectivamente, Estados Unidos en el cuarto lugar, mientras que los países latinoamericanos: Brasil y México aparecen en la lista, en la quinta y décimo cuarta posición, respectivamente.

La producción de cemento a nivel de la Comunidad Andina de Naciones (CAN) presenta una evolución positiva entre los años 2009 y 2011. Para el último año, alcanzó una producción total de 27.640 miles de toneladas, de las cuales, el 39% proviene de la producción de Colombia, seguido de Perú (30%), Ecuador (21%) y Bolivia (10%).

El sector de la construcción representa uno de los más dinámicos e importantes en la economía ecuatoriana por su notable crecimiento y por el valor agregado que este sector genera, desde el punto de vista de los insumos intermedios que demanda.

El Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (2012) expresa que entre los años 2010 - 2011 la comercialización de cemento en el Ecuador creció alrededor del 7,91%, al pasar de 5,28 a 5,70 millones de toneladas.

### **1.1.3. Proceso Productivo de la Fabricación del Cemento en UNACEM Ecuador S.A.**

Szabo, (1979) menciona que la fabricación del cemento es un proceso que consume muchos recursos naturales porque normalmente es necesario extraer entre 1,5 y 1,7 toneladas de materia prima para producir una tonelada de clínker. Además, la fabricación requiere una cantidad considerable de energía, con temperaturas cercanas a 2.000°C en los hornos de cemento (Loréa, 2007). Cada tonelada de cemento producida requiere normalmente entre 60 y 130 kilogramos de combustible, o su equivalente, y cerca de 105 KWh de electricidad (EIPPCB, 2010).

Como promedio, los costes energéticos de combustible y electricidad representan el 40% de los costes de la fabricación del cemento (EIPPCB, 2010).

En el proceso de fabricación de cemento, pueden diferenciarse tres etapas básicas:

- a. Obtención y preparación de materias primas (caliza, arcilla, arenas de hierro y sílice) que son finamente molidas para obtener crudo.
- b. Cocción del crudo en un horno rotatorio hasta temperaturas de 1.450 °C (2.000°C de temperatura de llama) para la obtención de un producto semielaborado denominado clínker de cemento.
- c. Molienda conjunta del clínker con otros componentes (yeso y puzolana) para obtener el cemento.

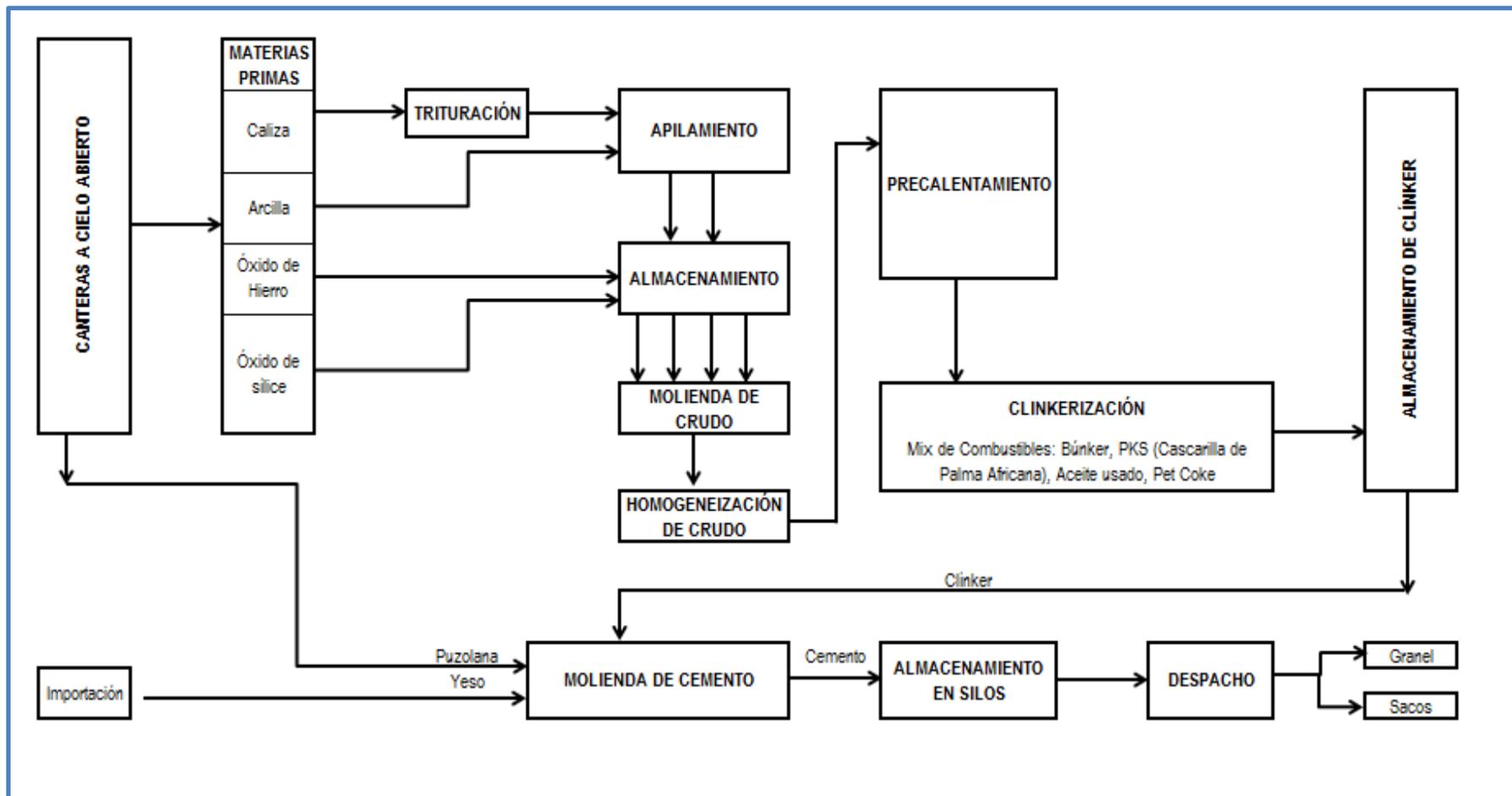


Figura 1: Diagrama de flujo de la fabricación de cemento en UNACEM Ecuador

Fuente: Información propia.

Elaborado: EL AUTOR.

Los principales procesos productivos en la fabricación del cemento en UNACEM Ecuador, son:

#### **1.1.3.1. Explotación y Transporte de materias primas.**

En UNACEM Ecuador, las materias primas necesarias para fabricar cemento son:

- Caliza
- Arcilla
- Óxido de Sílice
- Óxido de Hierro
- Yeso
- Puzolana

El Proceso Industrial comienza en las canteras con la extracción de las materias primas, luego estas son almacenadas en espacios funcionales dentro de las instalaciones de la planta.

La caliza se extrae mediante explotación a cielo abierto en la cantera ubicada en la zona denominada Selva Alegre, cantón Cotacachi a 60 Km de la Planta Industrial. Se explota la caliza con el uso de perforadoras especiales y posterior detonación con explosivos.

La caliza así extraída, es depositada en grandes camiones mediante cargadoras de gran capacidad y transportada hasta una trituradora que permite reducir el material con tamaño de hasta 1.2 m. a uno final, menor a 10 cm. El material finalmente es apilado en una zona de almacenamiento desde donde se carga a la flota de camiones para que sea llevada a la Planta Industrial.

La caliza aporta al proceso, Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

La arcilla es minada mediante equipo pesado en terrenos aledaños a la Planta Industrial. Los elementos químicos que aporta son principalmente Óxidos, como el de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

La deficiencia de la arcilla en Hierro y Sílice, obliga a que se utilicen materiales correctivos tales como el óxido de hierro ( $\text{FeO}_2$ ) que se explota en forma de una arena cerca de la

localidad de Pedernales, Manabí. Mientras que el óxido de sílice se lo hace en la localidad de Cotundo, Provincia de Napo.

Adicionalmente se utiliza escoria de hierro como aportante de óxido de hierro ( $\text{FeO}_2$ ). Las escorias son un subproducto no deseable de la fundición de hierro en altos hornos metalúrgicos de Adelca y Novacero. Su utilización como materia prima requiere de Licencia de Coprocesamiento porque es considerada un elemento peligroso.

### **1.1.3.2. Almacenamiento de materias primas.**

La caliza es descargada en planta, en una tolva y conducida a través de bandas transportadoras externas y subterráneas hasta un distribuidor giratorio, que permite apilar el producto en forma radial, en un área abierta destinada para su almacenamiento consiguiendo con esto una prehomogenización del material. Se dispone además de un área de stock de caliza externa a la planta.

La arcilla extraída desde la concesión minera de Pastaví, es almacenada en un galpón abierto y techado, donde se realiza el proceso de homogenización, mediante un sistema de apilamiento longitudinal tipo Windrow, que forma pequeños montículos triangulares hasta lograr su recuperación final en forma transversal.

Las instalaciones para almacenamiento de materias primas tienen la capacidad suficiente para los requerimientos de la empresa, cuyo volumen actual se consigna en el siguiente cuadro:

Tabla 2: Capacidad de almacenamiento de materias primas.

<b>Materia prima</b>	<b>Capacidad de almacenamiento</b>
	<b>(toneladas)</b>
Caliza triturada	100.000
Arcilla	26.000
Yeso	5.000
Yeso fino	15.000
Puzolana	12.000
Arena de sílice	30.000
Mineral de hierro	5.000

Fuente: UNACEM Ecuador S.A.  
Elaborado: EL AUTOR.

### **1.1.3.3. Transporte y dosificación de materias primas.**

Cada una de las materias primas (Caliza, arcilla, arenas de sílice y de hierro) son transportadas por separado a tolvas desde donde son dosificadas mediante balanzas de precisión de acuerdo a una “receta” dada por el departamento de Aseguramiento de la Calidad.

En el área de conducción y dosificación de las materias primas para la Línea 1 se disponen de 4 tolvas de almacenamiento de arcilla, caliza, mineral de hierro y mineral de sílice, con sus dosificadores y banda transportadora hacia el Molino de Crudo.

En la Línea 2, se dispone de 4 tolvas para la materia prima con sus respectivos sistemas de dosificación y transporte individual.

Las cantidades dosificadas de estos productos dependen de la composición química de los mismos, buscando siempre producir un crudo de las mismas características químicas.

Los rangos de dosificación de los productos se encuentran descritos en la siguiente tabla:

Tabla 3: Rangos de dosificación de la materia prima.

<b>Producto</b>	<b>Rango de dosificación (ton/h)</b>
Caliza	10 a 100
Arcilla	4 a 40
Mineral De Sílice	0,2 a 2
Mineral De Hierro	0,1 a 1

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

### **1.1.3.4. Molienda de materia prima.**

El proceso consiste en tomar las rocas calcáreas y las arcillas en las proporciones requeridas, y molerlas en un molino de rodillos. Durante la molienda, se utilizan los gases calientes del horno lo que permiten secar los materiales a 250 °C, logrando de esta manera, que el compuesto de la caliza se vincule íntima y homogéneamente con los compuestos de la arcilla. El producto resultante de este proceso se denomina crudo o harina.

Los molinos verticales de rodillos se alimentan de las 4 materias primas que se extraen de sus respectivas tolvas: 79% de caliza, 20% de arcilla, 0.5% sílice, 0.5% mineral de hierro; estas materias primas son dosificadas mediante balanzas de alta precisión, que garantizan una homogeneidad en la alimentación al molino.

Las moliendas de crudo cuentan con sistemas de captura de polvo a través un sistema de electrofiltros (línea antigua) y filtro de mangas (línea nueva) para recuperación de partículas, con la finalidad de disminuir la emisión de polvo a la atmósfera y cumplir las normas nacionales sobre emisiones de material particulado.

El polvo o crudo es posteriormente trasladado por medio de transporte mecánico y neumático a los silos de almacenamiento.



Figura 2: Filtros electrostáticos (Electrofiltros) para la recuperación de partículas sólidas.

Fuente UNACEM Ecuador.  
Fotografía del AUTOR.

Algunas características, tipo, fabricante y capacidad de los equipos principales de este subproceso están indicadas en los cuadros siguientes.

Tabla 4: Características de los molinos de Crudo.

	<b>Línea 1</b>	<b>Línea 2</b>
Marca	ALLIS CHALMERS	CBMI
Capacidad nominal	110 t/h	120 t/h.
Tipo	Vertical	Vertical

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Tabla 5: Características de los Filtros.

	<b>Línea 1</b>	<b>Línea 2</b>
Marca	FLAKT - ELEX	CBMI
Capacidad nominal	193.000 m3/h	200.000 m3/h
Emisiones	50 mg/Nm3 gas	20 mg/Nm3 gas
Tipo	Electro filtro	Mangas

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

### **1.1.3.5. Homogenización de harina cruda.**

El crudo es transportado mediante un sistema hermético de elevadores mecánicos y sistemas neumáticos a un silo de homogenización de 5.600 Ton de capacidad, donde se trata de conseguir una mezcla homogénea del material, en lo concerniente a composición química y finura.

Las características del silo de homogenización se detallan a continuación:

Tabla 6: Características del silo de homogenización.

	<b>Línea 1</b>	<b>Línea 2</b>
Marca	CLADIUS PETERS	CBMI
Capacidad nominal	120 t/h	150 t/h
Capacidad de almacenamiento	5.600 t	2.000 t
Tipo	Pre cámara de mezclado	Solo almacenamiento

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

### **1.1.3.6. Precalentamiento, calcinación y enfriamiento.**

#### **1.1.3.6.1. Precalentamiento.**

El crudo llega a la torre de precalentamiento procedente del silo de homogenización por medio de un sistema mecánico de transporte, compuesto por elevadores y aerodeslizadores. La torre está conformada por ciclones de alta eficiencia que permite al crudo que desciende, precalentarlo en contra corriente, aprovechando el calor remanente de los gases de combustión del horno. La capacidad de procesamiento de la torre de precalentamiento actual es de 1.600 TPD para la línea 1, para la línea 2 es de 1.700 TPD, a las cuales se puede alimentar 120 TPH de polvo crudo. La torre de precalentamiento de la línea 1 cuenta con cuatro ciclones por los cuales fluyen los gases de combustión del horno, precalentando el crudo, que antes de ingresar al horno alcanza una temperatura de 900° C.

La línea 2 tiene 5 etapas o ciclones y un calcinador. Este precalentador está conectado a un conducto de aire terciario que viene de la enfriadora. El quemador allí instalado utiliza la misma mezcla de combustibles que el quemador principal del horno, está diseñado e instalado para lograr que el combustible tenga el suficiente tiempo de residencia para asegurar una combustión completa. La salida del flujo de gas se acondiciona con una torre de enfriamiento para reducir la temperatura de gas a 240°C.

El calcinador logra un 95% de descarbonatación del crudo, proceso que normalmente debería ocurrir dentro del horno.

En la tabla siguiente se pueden comparar algunas de las características de los precalentadores de los hornos, tanto para la línea 1 como para la 2.

Tabla 7: Características de los equipos de pre calentamiento

	<b>Precalentador 1</b>	<b>Precalentador 2</b>
Marca	FLS	CBMI
Capacidad nominal	1.600 t/día	1.500 t/día
Tipo	Cuatro etapas	Cinco etapas – pre calcinador

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.



Figura 3: Torres de Precaentamiento.

Fuente UNACEM Ecuador.  
Fotografía del AUTOR.

#### 1.1.3.6.2. *Calcinación.*

El polvo crudo homogenizado y precalentado ingresa a un horno rotatorio recubierto en su interior con ladrillo refractario, instalado con una leve inclinación ( $3^\circ$ ) que permite al producto descender durante su proceso de cocción, permaneciendo allí por espacio de 1 hora, a una temperatura inicial de  $900^\circ\text{C}$  la misma que se eleva hasta alcanzar los  $1450^\circ\text{C}$  aproximadamente. Durante este proceso se producen diversas reacciones químicas a lo largo del interior del horno hasta obtener una fusión incipiente del producto resultante, denominado clínker, que son pequeños nódulos de color gris oscuro de 3 a 4 cm.

La Línea 1 dispone de una torre de precalentamiento de cuatro etapas, con un sistema de flujo de gases del horno; proceso que opera con combustibles líquido (bunker) y sólido (petcoke). La Línea 2 tiene una torre de precalentamiento de cinco etapas (además de precalentar también calcina, lo que hace que, a pesar de ser un horno más pequeño, sea

más eficiente) con su propio precalcinador y un sistema de flujo de aire. Este horno puede operar con combustibles líquidos (búnker) y sólidos (Pet coke y PKS).

Los gases de proceso en la línea 2 son transportados en el sistema por medio de ventiladores de alta eficiencia, los cuales pasan a través de filtros de mangas de alta fiabilidad, previo a su emisión a la atmósfera. Las instalaciones están diseñadas para cumplir con las Normas Ambientales vigentes.

Las características de operación de los hornos de UNACEM Ecuador S.A, permiten una efectiva neutralización y destrucción de los potenciales contaminantes atmosféricos. Las condiciones de operación son:

- Altas temperaturas (superiores a 1.450°C para el material y a 2.000°C para la llama)
- Alta turbulencia de los gases
- Atmósfera oxidante alcalina
- Alta inercia y estabilidad térmica (evita los riesgos de bajadas bruscas de temperaturas durante períodos de tiempos cortos).
- Alta absorción de metales pesados dentro de la estructura cristalina del clínker.
- Largos tiempos de residencia dentro del horno
- Proceso en contracorriente, que permite que la mayor parte de los elementos químicos que puedan ser arrastrados por los gases, condensen sobre la materia prima que ingresa al horno.
- No genera residuos porque las cenizas son incorporadas al clínker
- Poseen sistemas de acondicionamiento de gases (enfriamiento por agua atomizada) previo a su ingreso a los precipitadores electrostáticos o filtros de mangas.
- El horno No. 1 de UNACEM Ecuador S.A, posee dos precipitadores electrostáticos como equipos de control de emisiones de material particulado.
- El horno No. 2 de UNACEM Ecuador S.A, posee un filtro de mangas como equipo de control de emisiones de material particulado.
- El Proceso posee un sistema de supervisión automático para el monitoreo y control operacional. (Club Español de Residuos, 2001).

Estas características hacen posible la neutralización y fijación de cualquier compuesto ácido, lo que junto con el proceso de clinkerización (mediante el cual quedan atrapados los metales pesados en los cristales del clínker las altas temperaturas de trabajo y los altos tiempos de

residencia, permiten ofrecer plenas garantías en cuanto a la eficacia de la encapsulación en el cemento de los componentes contaminantes.

La zona de clinkerización, situada en la parte más baja del horno rotatorio, es donde se encuentra el quemador principal. En esta zona, la temperatura de la llama supera los 2000 °C (los gases de combustión se mantienen a más de 1200°C, durante un tiempo superior a 5 segundos) en una atmósfera oxidante. En este punto la temperatura del material alcanza los 1450°C.

En la tabla siguiente se comparan algunas características técnicas de los dos hornos para poder entender sus diferencias.

Tabla 8: Especificaciones técnicas de los hornos de clinker.

<b>Características de los hornos de clinker</b>	<b>Horno 1</b>	<b>Horno 2</b>
Tipo	Horno con precalentador de 4 etapas	Horno con precalcinador de 5 etapas
Proceso	Seco	Seco
Dimensiones	62 m de largo por 4,42 m de diámetro	58 m de largo por 4,0 m de diámetro
Capacidad	1.550 Ton/d	1.650 Ton/d
Diámetro de Chimenea	2,75 m	2,4 m
Altura de Chimenea	37 m	104 m
Combustible	Crudo residual + Pet coke	Crudo residual + Petcoke + PKS
Potencia Nominal Térmica	63 Gcal / h	35 Gcal/h
Poder Calorífico	8493,72 Kcal./Kg	6365,00 Kcal./Kg
Consumo Energético	783,59 Kcal./Kg clinker	647,17 Kcal./Kg. clinker
Temperatura del material	1.450 °C	1.450 °C
Temperatura de la llama	2.000 °C	2.000 °C
Abatimiento de emisiones	Dos precipitadores electrostáticos	Filtros de mangas
Tiempo de residencia del gas de combustión de diseño:: N° [segundos]	5 a 10 seg	5 a 10 seg
Alimentación de crudo	116 t/h	120 t/h
Tasa de producción	63,1 t/h	69,5 t/h

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Durante la operación diaria de los hornos, las personas encargadas de ello monitorean constantemente los siguientes parámetros, en cada uno de los hornos.

Tabla 9: Parámetros principales de Operación de los hornos.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>
Temperatura de Combustión	° C
Temperatura del Gas	° C
Presión	mmHg
Porcentaje de Oxígeno	% O2
Porcentaje de Dióxido de Carbono	% CO2
Monóxido de Carbono CO	ppm
Concentración de NOX	ppm
Concentraciones de HCl	ppm
Concentraciones de partículas	ppm
Vapor de agua en los gases de escape	%
Velocidad de salida de gases de combustión	m / seg
Caudal o Flujo de los gases de salida del horno	m3/min
Porcentaje de Exceso de Aire	(% EA)
Crudo alimentación	t/h
Tasa de producción	t/h

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Los gases de salida de los hornos se pasan a través de un dispositivo de depuración (precipitador electrostático para el horno 1 y filtro de mangas para el horno 2) para la separación del polvo antes de que se emitan a la atmósfera por la chimenea principal. Los gases a la salida del precalentador están a temperatura relativamente alta y proporcionan calor al molino de crudo y eventualmente al molino de carbón, para el secado del crudo y el combustible durante la molienda de los mismos. Si el molino de crudo no está en servicio (marcha directa), los gases se enfrían con agua pulverizada en una torre de acondicionamiento antes de conducirlos al colector de polvo, tanto para reducir su volumen como para aumentar sus características de precipitación (mejora de la conductividad para la captación electrostática).

El control de los niveles de CO es fundamental en el caso del precipitador electrostático, debido a que es necesario asegurar que las concentraciones se mantengan muy por debajo del límite de explosión. Si el nivel de CO en los precipitadores electrostáticos se eleva (típicamente a 0,5% en volumen) entonces se desconecta automáticamente la alimentación de corriente eléctrica al electrofiltro para eliminar el riesgo de explosión. Los incrementos anormales de los niveles de CO, pueden ser causados por un mal funcionamiento del sistema de combustión.

La capacidad de los hornos está determinada por la cantidad de clínker que el sistema produce, en la tabla siguiente se puede hacer una comparación entre los dos hornos.

Tabla 10: Capacidad de producción de clínker de los hornos.

<b>Capacidad de los hornos</b>	
Línea 1	1550 Ton/día
Línea 2	1700 Ton/día

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

El clínker sale del horno rotatorio a alta temperatura (1.200 °C), por lo cual se somete a un enfriamiento térmico por medios mecánicos, para poder luego ser transportado a la molienda de cemento.

#### *1.1.3.6.3. Enfriamiento.*

Una vez que sale el clínker a altas temperaturas del horno de la Línea 1, es transportado a una enfriadora de parrillas, que inyecta aire a temperatura ambiente, por medio de ventiladores de alto volumen. El aire utilizado en este proceso sirve para garantizar el proceso de enfriado del clínker.

Durante el proceso de enfriamiento, el clínker permanece sobre las placas de la parrilla móvil que están en constante movimiento. En toda la longitud del enfriador se inyecta aire a través de varios compartimientos por debajo del lecho de clínker, a través de las rendijas de las placas de las parrillas.

El aire caliente (calentado por su paso a través del lecho de clínker) se inyecta al horno donde aportará con el Oxígeno necesario para la combustión.

Tabla 11: Características de los enfriadores.

	<b>Línea 1</b>	<b>Línea 2</b>
Tipo	De parrilla	De parrilla
Proceso	Directo	Directo
Dimensiones	43 m <sup>2</sup>	37,7 m <sup>2</sup>
Temperatura salida de	100°C + T. ambiente	65°C + T. ambiente

Fuente: UNACEM Ecuador S.A.  
Elaborado: EL AUTOR.

El clínker enfriado pasa a ser almacenado en un silo adecuado para el efecto, con una capacidad de 50.000 toneladas.

#### *1.1.3.6.4. Molienda de cemento.*

La molienda de cemento consta de tres subprocesos:

- Pretrituración de clínker.

El clínker extraído del silo de almacenamiento pasa por una trituradora de eyectores, para adecuar su granulometría a menos de 6 mm. La trituradora puede procesar actualmente 6.000 toneladas diarias.

- Transporte y dosificación de productos intermedios y materias primas adicionales.

Como parte del proceso para la elaboración de cemento se requiere la conducción y dosificación de los productos intermedios (clínker) y materias primas adicionales (puzolana e yeso) al molino de cemento.

El yeso es alimentado desde su galpón de almacenamiento a través de la cargadora frontal hacia una tolva de ingreso, para luego ser triturado y enviado a través de un sistema

mecánico hasta la tolva de almacenamiento, en la estación de alguna de las moliendas de cemento.

El proceso de almacenamiento y manipulación de la puzolana es similar al proceso del yeso, pero antes de llegar al molino de cemento pasa por un secador de puzolana tipo “flash dryer”.

El clínker pre triturado luego de ser transportado desde la estación de pre trituración es almacenado en las tolvas existentes para ello, en cada una de las moliendas de cemento.

El clínker, la puzolana y el yeso, son adecuadamente dosificados a través de balanzas dosificadoras y transportados por medio de bandas hacia el molino de cemento.

Tabla 12: Relación de dosificación.

<b>Producto</b>	<b>Rango de dosificación (tph)</b>
Puzolana	4 a 40
Yeso	1 a 10
Clinker	12 a 120

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

- Molinos de Cemento.

En las estaciones de molienda de cemento, el clínker, yeso y puzolana, luego de ser adecuadamente dosificados, son molidos finamente en los molinos de bolas. El material saliente del molino es clasificado en separadores de tercera generación con los que se logra la finura adecuada del cemento la cual incide directamente en la calidad del hormigón.

#### *1.1.3.6.5. Almacenamiento de Cemento.*

El cemento procedente de la estaciones de molienda es transportado y distribuido a los silos de almacenamiento, a través de un sistema de transporte mecánico conformado por elevadores y fluidificadores de alto rendimiento.

Se cuenta con cuatro silos para recibir el cemento proveniente de los molinos, los cuales se encuentran conectados a los sistemas de despacho al granel y envasado.

Los dos molinos aportan en conjunto aproximadamente 200 t/h de cemento, las diferencias están señaladas en el cuadro siguiente:

Tabla 13: Características de los molinos de cemento.

	Línea 1	Línea 2
Marca	ALLIS-CHALMERS	CBMI
Modelo	2 cámaras	2 cámaras
Diámetro	3.96 m	4.6 m.
Longitud	11.76 m	14 m.
Velocidad	15.94 rpm	15 rpm
Capacidad de producción	75 t/h	120 t/h

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

#### *1.1.3.6.6. Envase y embarque del cemento.*

El producto terminado “Cemento Portland” es controlado por análisis químicos y ensayos físicos en un laboratorio equipado para poder garantizar la calidad del producto final. El cemento se extrae de los silos por medio de sistemas neumáticos o mecánicos, para ser envasado en sacos de papel, o surtido directamente a granel. En ambos casos el despacho se lo hace por camiones.

El producto es despachado y transportado en camiones plataformas, a los distribuidores y comercializadores de cemento ensacado. En la planta, el área de despacho de cemento ensacado cuenta con 5 andenes donde se ubican los vehículos para cargar directamente el cemento, y transportarlo a los diferentes distribuidores y comercializadores.

El cemento a granel es despachado al cliente directamente en la planta, hasta donde llegan los vehículos para cargar el cemento de acuerdo con el volumen solicitado.

#### **1.1.4. Aspectos ambientales de la fabricación de cemento.**

La industria del cemento emite a la atmósfera una serie de contaminantes que pueden proceder de fuentes puntuales o dispersas (figura No. 4.). (Concreto Online. 2015).

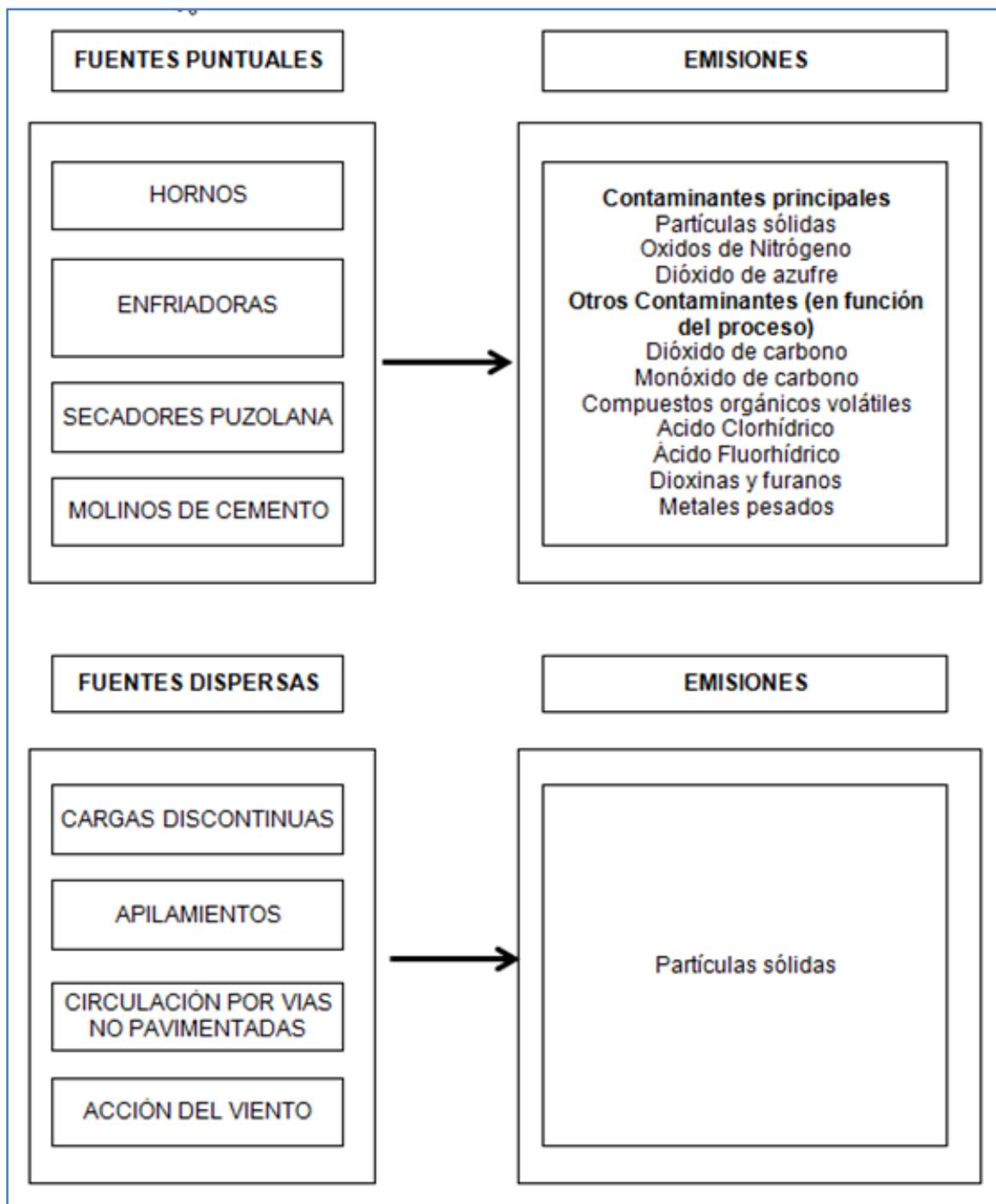


Figura 4: Tipos de emisiones.

Fuente: UNACEM Ecuador.

Elaborado: EL AUTOR.

Las emisiones desde fuentes puntuales se generan durante todo el proceso productivo (combustión, molienda y secado) y se caracterizan por estar canalizadas a través de chimeneas. Los principales compuestos contaminantes generados son:

- Partículas sólidas
- Óxidos de nitrógeno
- Dióxido de azufre

Además, existen otros compuestos que se emiten desde estas mismas fuentes, en función de las características del proceso:

- Dióxido de carbono
- Monóxido de carbono
- Compuestos orgánicos volátiles
- Ácido clorhídrico
- Ácido fluorhídrico
- Dioxinas y furanos
- Metales pesados

Las emisiones desde fuentes dispersas, por el contrario, no se encuentran canalizadas y no se asocian a procesos de combustión ni de molienda y secado sino simplemente a operaciones tales como la carga discontinua de camiones por palas excavadoras, los apilamientos de caliza y arcilla, la circulación de vehículos por pistas no pavimentadas o la acción erosiva del viento sobre los materiales que se encuentran a la intemperie. (Concreto Online. 2015).

Estas operaciones emiten a la atmósfera, básicamente, partículas sólidas como único contaminante.

## **1.2. Gestión de Residuos.**

### **1.2.1. Residuos y Desechos Urbanos.**

#### **1.2.1.1. Concepto.**

La Ordenanza Municipal 213 (2007) del Distrito Metroplitano de Quito define residuo como “cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o del que tenga la intención de desprenderse”.

El Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, tiene la siguiente definición:

“Desechos son las sustancias (sólidas, semi-sólidas, líquidas, o gaseosas), o materiales compuestos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo, cuya eliminación o disposición final procede conforme a lo dispuesto en la legislación ambiental nacional e internacional aplicable” (MAE, 2015).

### **1.2.2. Desechos peligrosos.**

Todo residuo o desecho que pueda causar daño a la salud o al medio ambiente es considerado como un residuo peligroso. Tal es el caso de materiales sintéticos, aguas residuales, lodos petroleros, desechos de lavados y limpieza de minerales, neumáticos, residuos de madera, aceites de motor usados, residuos petroquímicos, residuos agroquímicos y desechos de acabado textil, entre otros, porque su composición química están generando cada vez mayores peligros para los seres vivos.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente emitió las Directrices técnicas sobre el coprocesamiento ambientalmente racional de los desechos peligrosos, donde menciona que:

“Desechos Peligrosos son desechos que pertenecen a cualquier categoría contenida en el anexo 1 del Convenio de Basilea (“Categoría de desechos que hay que controlar”), a menos que no posean ninguna de las características recogidas en el Anexo III del Convenio (“Listado de características peligrosas”): explosivas; líquidos inflamables; sólidos inflamables, sustancias o desechos susceptibles de combustión espontánea; sustancias o desechos que, en contacto con el agua, emiten gases inflamables; oxidantes; peróxidos orgánicos; venenos (agudos); sustancias infecciosas; corrosivos; liberación de gases tóxicos en contacto con el aire o el agua; sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos), ecotóxicos; sustancias que pueden, por algún medio, después de su eliminación, dar origen a otra sustancia, por ejemplo, lixiviados, que posean alguna de las características anteriormente citadas”. (Programa de las Naciones Unidas, 2011, Pag 5).

En Ecuador, el 21 de diciembre de 2012, se publicó en Registro Oficial No. 856 el Acuerdo Ministerial No. 142 sobre los “Listados Nacionales de Sustancias Químicas Peligrosas,

Desechos Peligrosos y Especiales”, este listado indica las sustancias químicas que serán consideradas peligrosas (Anexo A), desechos peligrosos (Anexo B), y desechos especiales (Anexo C).

El Listado No. 2: “Listado de desechos peligrosos por fuente no específica” del mencionado documento considera como Desecho Peligroso a los “aceites minerales usados o gastados”, los clasifica en el CRETIB (acrónimo de clasificación de las características a identificar: Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológicamente Infeccioso) como Tóxico e Inflamable, le codifica como NE-03 y con su código de Basilea correspondiente a Y8 (Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados). (MAE, 2012, p. 20).

Las características del desecho se presentan resumidas en el siguiente cuadro:

Tabla 14: Códigos de peligrosidad de los residuos.

<b>Características</b>	<b>Código</b>
Corrosividad	C
Reactividad	R
Explosividad	E
Toxicidad	T
Inflamabilidad	I
Infecciosidad	B

Fuente: Listado Nacional de residuos peligrosos y método de caracterización, MAE 2003.

Elaborado: EL AUTOR.

El Ministerio del Ambiente del Ecuador, considera como desechos peligrosos, a:

- a. “Los desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, extracción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan alguna sustancia que tenga características corrosivas, reactivas, tóxicas, inflamables, biológico-infecciosas y/o radioactivas, que representen un riesgo para la salud humana y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales aplicables; y,
- b. Aquellos que se encuentran determinados en los listados nacionales de desechos peligrosos, a menos que no tengan ninguna de las características descritas en el numeral anterior. Estos listados serán establecidos y actualizados mediante acuerdos ministeriales”. (Ministerio del Ambiente, 2015, pp. 24).

Los aceites usados son considerados residuos peligrosos, de acuerdo con el Anexo 1 del Convenio de Basilea. Según la Organización de las Naciones Unidas-ONU, el aceite lubricante usado es clasificado como un Residuo Peligroso, pues sus principales contaminantes son altamente tóxicos (Plomo, Cloro, Bario, Magnesio, Zinc, Fósforo, Cromo, Níquel, Aluminio, Cobre, Estaño y Azufre, entre otros) y su uso inadecuado afecta no sólo a los seres vivos sino también al ambiente.

En el mundo han hecho su aparición en los últimos años, nuevos procesos y tecnologías que permiten la reutilización o reciclaje de residuos o desechos peligrosos, transformándolos en sustancias susceptibles de ser utilizadas o aprovechadas ya sea como materia prima o como energéticos.

#### ***1.2.2.1. Características de los desechos peligrosos.***

La Environmental Protection Agency, (1980) da las definiciones para las características de peligrosidad:

##### ***1.2.2.1.1. Corrosividad.***

“Un residuo es corrosivo si presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- a. ser acuoso y presentar un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.52;
- b. ser líquido y corroer el acero a una tasa mayor que 6.35 mm al año a una temperatura de 55°C, de acuerdo con el método NACE (National Association Corrosion Engineers), Standard TM-01-693, o equivalente.

##### ***1.2.2.1.2. Reactividad.***

Un residuo es reactivo si muestra una de las siguientes propiedades:

- a. ser normalmente inestable y reaccionar de forma violenta e inmediata sin detonar;
- b. reaccionar violentamente con agua;
- c. generar gases, vapores y humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud o al ambiente cuando es mezclado con agua;
- d. poseer, entre sus componentes, cianuros o sulfuros que, por reacción, libere gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para poner en riesgo a la salud humana o al ambiente;

- e. ser capaz de producir una reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados.

#### *1.2.2.1.3. Explosividad.*

Un residuo es explosivo si presenta una de las siguientes propiedades:

- a. formar mezclas potencialmente explosivas con el agua;
- b. ser capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y 1 atm;
- c. ser una sustancia fabricada con el objetivo de producir una explosión o efecto pirotécnico.

#### *1.2.2.1.4. Toxicidad.*

Un residuo es tóxico si tiene el potencial de causar la muerte, lesiones graves, efectos perjudiciales para la salud del ser humano si se ingiere, inhala o entra en contacto con la piel.

#### *1.2.2.1.5. Inflamabilidad.*

Un residuo es inflamable si presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- a. ser líquido y tener un punto de inflamación inferior a 60°C, conforme el método del ASTM-D93-79 o el método ASTM-D-3278-78 (de la American Society for Testing and Materials), con excepción de las soluciones acuosas con menos de 24% de alcohol en volumen;
- b. no ser líquido y ser capaz de, bajo condiciones de temperatura y presión de 25°C y 1 atm, producir fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones químicas espontáneas y, cuando se inflama, quemar vigorosa y persistentemente, dificultando la extinción del fuego;
- c. ser un oxidante que puede liberar oxígeno y, como resultado, estimular la combustión y aumentar la intensidad del fuego en otro material.

#### 1.2.2.1.6. *Biológicamente infeccioso.*

Para que un residuo sea considerado biológicamente infeccioso deberá contener agentes infecciosos que es cualquier organismo capaz de producir una enfermedad. Para ello se requiere que el microorganismo tenga capacidad de producir daño, esté en una concentración suficiente, en un ambiente propicio, tenga una vía de entrada y estar en contacto con una persona susceptible”.

#### 1.2.3. **Jerarquía de Gestión de Residuos.**

La Dirección General del Medio Ambiente de la Comisión Europea menciona que cada persona produce un kilo de residuos sólidos urbanos por día. En un año y solamente en Europa, esto supone un total de 200 millones de toneladas de residuos que deben ser tratados adecuadamente en algún sitio y de algún modo.

La situación mundial es insostenible, los vertederos autorizados están cada vez más abarrotados. Los metales pesados y las toxinas se filtran en el suelo y llegan a los reservorios de aguas freáticas. También se generan gases tóxicos y explosivos a los que están expuestos sin saberlo, un buen número de personas. Pero fuera de esto, lo más grave es, el número desconocido de vertederos ilegales donde se depositan cantidades imposibles de cuantificar de residuos.

La incineración de residuos produce toxinas y metales pesados que para no llegar a la atmósfera deben ser retenidos en filtros que tienen un costo muy alto. Al final, estos, van a parar de todas formas, a vertederos.

La prevención y la reducción de residuos deben ser las máximas prioridades en todo plan de gestión porque si no se producen, no tienen que eliminarse.

El reciclado total o parcial puede reducir el volumen de residuos que deben ser eliminados y puede evitarse recurrir a materias primas o aprovechar la energía de los residuos al utilizarlos como combustible.

Cuando, al final, los residuos tienen que eliminarse, hay que elegir entre los vertederos, la incineración o la valorización energética. Ninguna de las soluciones es perfecta, y pueden

tener efectos nocivos sobre la salud y el medio ambiente. La mejor solución siempre, consiste en reducir el volumen total de residuos generados.

La pirámide que se muestra a continuación está conformada por una serie de pasos (del más complejo al más simple). El objetivo de esta gráfica es mostrar fácilmente las acciones y su efecto en la gestión de los residuos.

La gestión de evitar la producción de residuos es la más amigable con el medio ambiente y es lo primero que deberíamos realizar, pero también es la más difícil de conseguir.



Figura 5: Jerarquía de Gestión de Residuos.

Elaborado por EL AUTOR.

Es absolutamente necesario utilizar instrumentos persuasivos para mejorar la gestión de residuos urbanos, tales como la aplicación de impuestos sobre el depósito en vertederos o sobre la incineración o la prohibición absoluta del depósito en vertederos o de la incineración, pero también se debería aplicar un plan de incentivos para promover la prevención de residuos, la reutilización, el reciclado y la valorización energética. Además se debería intensificar la recogida selectiva e implementar campañas de reducción de consumo de productos que generen residuos.

#### **1.2.4. Principios Generales para el Coprocesamiento.**

El Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en el 2011 emitió las directrices generales sobre el coprocesamiento ambientalmente racional en hornos de cemento donde menciona que la gestión de residuos se fundamenta en el cumplimiento de una serie de principios que se los describe a continuación:

##### **1.2.4.1. Principio I.**

El co-procesamiento respeta la jerarquía de residuos.

- El co-procesamiento sólo debe usarse si no existen otras formas de recuperación económica y ambientalmente mejores.
- Es una alternativa de recuperación de recursos segura para el medio ambiente.
- Respetar los convenios ambientales internacionales, como las Convenciones de Estocolmo y Basilea.

##### **1.2.4.2. Principio II.**

Deben evitarse emisiones adicionales y el impacto negativo en la salud del ser humano.

- Previene los efectos de la contaminación en el ambiente y la salud.
- Con base estadística, las emisiones atmosféricas no deben superar a las de la producción de cemento con combustible y materias primas tradicionales.

##### **1.2.4.3. Principio III.**

La calidad del producto de cemento permanece sin cambios.

- El producto (clínker, cemento, hormigón) no debe tener impacto negativo alguno en el ambiente, y su calidad no debe ser alterada.

#### **1.2.4.4. Principio IV.**

Las compañías encargadas del co-procesamiento deben estar calificadas por entidades independientes.

- Se debe registrar que se cumplen con las normas ambientales y de seguridad para informar al público y a las autoridades y mantener buenas relaciones con ellos.
- Las compañías dedicadas al co-procesamiento deben contar con personal, procesos y sistemas que garanticen estándares ambientales, de salud y seguridad, cumpliendo todas las normas establecidas.
- Se deben controlar los materiales y los parámetros del proceso, requeridos para un efectivo co-procesamiento de los residuos.

#### **1.2.4.4. Principio V.**

La implementación del co-procesamiento tiene que considerar circunstancias nacionales:

- Los reglamentos y procedimientos deben corresponder a las necesidades del país y considerar las tecnologías disponibles. La implementación debe ser gradual e ir acompañada de otros procesos de cambio en el sector.

### **1.3. Coprocesamiento y valorización energética de residuos peligrosos en la industria cementera.**

#### **1.3.1. Valorización energética.**

Castells, (2005) menciona que la Legislación Española define a la valorización energética como todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios en el medioambiente.

El Consultor, (2005), establece que la valorización energética de los residuos es “el aprovechamiento de residuos o de los recursos contenidos en los residuos mediante la

recuperación, regeneración, reutilización y el reciclado, sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios al medio ambiente".

Dependiendo del tipo de residuo, existen numerosas tecnologías para la valorización energética de los mismos: incineración de residuos sólidos urbanos (RSU), biomasa forestal y agrícola, deyecciones ganaderas y residuos agroindustriales utilizados como combustible, gasificación, pirólisis, secado térmico, digestión anaerobia, compostaje, incineración en plantas de cemento. Aunque el doble objetivo final es el mismo en todos los casos: encontrar una forma más eficiente de gestionar los residuos y obtener una nueva fuente de abastecimiento energético, que contribuya a reducir la dependencia que el mundo tiene de los combustibles tradicionales.

Las fuentes de energía más utilizadas a nivel mundial (petróleo, gas natural, carbón y uranio) son recursos limitados y su utilización no está exenta de impactos ambientales.

El uso óptimo de los recursos naturales disponibles requiere del aprovechamiento de todas las fuentes de energía renovables (solar, eólica, hidráulica, etc.) incluyendo la energía contenida dentro de la porción no reciclable de los residuos urbanos.

Al día de hoy los residuos ya contribuyen al mix energético mundial, y deben hacerlo respetando la jerarquía de residuos: prevenir, reutilizar, reciclar, y como mejor opción que el vertedero, tanto medioambiental como energética, la valorización energética.

A este proceso se le denomina de distintas formas tanto desde un punto de vista técnico como legal: "valorización energética", "coincineración" o "recuperación energética".

Es importante destacar que estamos hablando de residuos que no se han podido ni reutilizar ni reciclar y que actualmente están siendo depositados en vertedero, está situada dentro de la "jerarquía de gestión de residuos" por detrás de del reciclado y, siempre por delante de la eliminación de los mismos en vertederos.

### **1.3.1.1. Aspectos generales sobre la valorización energética de desechos peligrosos en las plantas de cemento.**

#### *1.3.1.1.1. Aspectos derivados del alto consumo energético.*

La fabricación de cemento, y más específicamente la producción de clínker, es una actividad que requiere un alto consumo energético, especialmente en forma de energía térmica a alta temperatura, lo que exige la aportación de cantidades importantes de combustibles.

#### *1.3.1.1.2. Ventajas de las plantas de clínker para la valorización energética de residuos.*

Es óptima la adecuación técnica de los hornos de clínker para la valorización energética de determinados residuos de alto poder calorífico y que pueden utilizarse como combustibles alternativos dentro del proceso (Fundación Laboral del Cemento y Medio Ambiente, s.f.).

#### *1.3.1.1.3. Limitaciones en la valorización de residuos por emisiones a la atmósfera.*

Las emisiones atmosféricas de las plantas de clínker están relacionadas, básicamente, con la emisión de partículas sólidas y con la emisión de gases procedentes de la combustión de los combustibles utilizados.

#### *1.3.1.1.4. Marco jurídico de la valorización de desechos peligrosos en hornos cementeros.*

La actividad está regulada por la Norma Técnica para el Coprocesamiento de Desechos Peligrosos en Hornos Cementeros que forma parte en el Anexo 11 del Libro VI de la Calidad Ambiental del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador.

### **1.3.1.2. Beneficios de la valorización en Plantas de Cemento.**

Los numerosos beneficios potenciales que ofrece el uso de desechos peligrosos en los procesos de fabricación de cemento mediante la recuperación de su contenido en energía y materia incluyen:

- la recuperación del contenido energético de los desechos,
- la conservación de combustibles fósiles no renovables y recursos naturales,

- la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>,
- la reducción de los costes de producción, y
- el uso de una tecnología existente para tratar desechos peligrosos.

El beneficio más directo es el aprovechamiento de la energía contenida en los combustibles alternativos y que viene a reducir la dependencia de combustibles fósiles y se genera ahorro mediante la conservación de los recursos.

La cantidad de la demanda de combustibles fósiles destinados a la valorización depende, entre otros factores, del poder calorífico y el contenido en agua del combustible alternativo.

Otro beneficio directo del coprocesamiento de los desechos en la fabricación del cemento es la reducción potencial de las emisiones de bióxido de carbono a la atmósfera, por ser esta industria generadora de este gas, tanto en la combustión como en la descarbonatación de la materia prima. Si paralelamente los residuos fueran quemados en hornos de incineración tradicionales (no en hornos de cemento) o dejados simplemente a la acción de los microorganismos de la naturaleza, estos generarían bióxido de carbono en forma paralela a la fabricación de cemento. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.1989).

El uso de materiales alternativos para sustituir las materias primas tradicionales reduce la explotación de los recursos naturales y la huella ambiental que producen dichas actividades.

Un beneficio importantes es el ahorro en los costos que se deriva del uso de una infraestructura ya existente como son los hornos cementeros, para llevar a cabo el coprocesamiento de los desechos, evitando la necesidad de invertir en incineradoras especializadas o en vertederos.

Adicional, los desechos peligrosos que se procesan en los hornos de cemento no generan productos finales que requieran una gestión posterior debido a que estos se incorporan al clínker.

### **1.3.2. Coprocesamiento de residuos peligrosos.**

Este proceso tecnológico implica una serie de consecuencias positivas en materia ambiental, en términos globales y específicos. El ahorro de los combustibles fósiles no

renovables es uno de los beneficios directos del coprocesamiento, la conservación de los recursos naturales (materias primas) y la disminución de la contaminación a través de una eficiente gestión de residuos. La aplicación de esta tecnología genera resultados favorables y ventajas para el medio ambiente y la sociedad, así como también para los generadores de residuos industriales e industrias con un alto consumo de energía, tales como las termoeléctricas, las metalúrgicas, las acereras y las cementeras.

Si bien el coprocesamiento no es la solución total, es un proceso tecnológico complementario dentro de un concepto integral de jerarquía en la gestión de residuos. Adicionalmente, el coprocesamiento se inserta en el conjunto de iniciativas y estrategias orientadas a solucionar la problemática del calentamiento global y la preservación de recursos no renovables. (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. 2007).

La valorización energética de residuos peligrosos es una forma de coprocesamiento y está regulada por normas que tienen que ver con este tipo de actividades.

### **1.3.3. Principios del coprocesamiento en la fabricación de cemento.**

El Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2011) indica que el coprocesamiento de residuos es una práctica cada vez más extendida en el sector de producción de cemento, dadas las condiciones termodinámicas que se alcanzan en el horno rotatorio. Para coprocesar en los hornos cementeros se debe:

- Respetar la jerarquía de gestión.

Los desechos deben ser coprocesados en hornos de cemento cuando no se disponga de otro método de recuperación más sólido ecológica y económicamente. Adicionalmente el coprocesamiento debe considerarse como una parte integral de la gestión de los residuos.

- Evitar las emisiones gaseosas adicionales.

Los efectos negativos de la contaminación sobre la salud humana y el medioambiente deben evitarse o minimizarse. Las emisiones derivadas del coprocesamiento no deben ser más altas que las que proceden de otras actividades de gestión de residuos.

- La calidad del cemento no debe modificarse.

El clínker, cemento u hormigón no debe utilizarse como depósito para metales pesados.

- Calificación de las empresas coprocesadoras.

Se debe asegurar que las empresas que utilicen residuos peligrosos en sus procesos cumplan con todas las leyes y normativas.

- El coprocesamiento debe tener en cuenta las circunstancias propias de cada país.
- Los residuos y subproductos utilizados como combustibles alternativos han de cumplir una serie de condiciones:
  - no deben perjudicar el comportamiento ambiental de la instalación,
  - no deben dificultar la operación de la fábrica y
  - no deben afectar a la calidad del cemento.

Los residuos que se utilizan en las fábricas de cemento como combustibles alternativos pueden ser sólidos o líquidos.

Dentro de los combustibles sólidos tenemos a:

- Neumáticos usados.
- Lodos de depuradora.
- Serrín y madera.
- Residuos de la producción papelera.
- Plásticos.
- Combustibles preparados a partir del rechazo de las plantas de reciclaje.
- Residuos de industrias cárnicas.
- PKS (cascarilla de la nuez de palma africana)

Algunos de los combustibles líquidos son:

- Aceites minerales usados.
- Disolventes, pinturas, barnices y otros residuos líquidos.
- Residuos de hidrocarburos.

El tratamiento que pueden recibir los desechos peligrosos son: físicos, químicos, térmicos y biológicos. El Ministerio de Ambiente, en correspondencia con la legislación ambiental vigente, ha aprobado el coprocesamiento como una alternativa de tratamiento de los aceites usados.

No pueden tratarse residuos radioactivos y en cuanto a los residuos orgánicos de origen sanitario u hospitalario, requieren un manejo especial por parte de los operadores y supondría un estudio de riesgos laborales específico.

De acuerdo a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme CIIU, las actividades desarrolladas en el proceso de coprocesamiento de desechos peligrosos pertenecen al sector E-3822 denominado "Tratamiento y eliminación de desechos peligrosos". (Ministerio del Ambiente Ecuatoriano, MAE. s.f. p. 325).

#### **1.3.4. Residuos Excluidos para el Co-procesamiento.**

Se ha definido un conjunto de residuos y otros materiales, que por diversas razones, no son coprocesables. Estas razones se refieren principalmente a la protección de la salud de las personas que trabajan en la producción de cemento, y a la no compatibilidad con el proceso productivo del cemento, lo que pone en riesgo el comportamiento ambiental del proceso y la calidad del producto. A continuación se especifica cuáles son estos residuos.

- Residuos electrónicos.
- Baterías y pilas.
- Residuos hospitalarios infecciosos y biológicamente activos.
- Ácidos minerales y corrosivos.
- Explosivos.
- Residuos que contengan asbesto.
- Residuos radioactivos.
- Residuos municipales no clasificados.

En la tabla mostrada a continuación se hace referencia a los residuos y materiales que no pueden ser coprocesados y las razones para ello.

Tabla 15: Listado de residuos no co-procesables.

<b>Lista de residuos y materiales excluidos para el co-procesamiento y las principales razones para su exclusión</b>						
	Enriquecimiento de agentes contaminantes en el clínker	Emisiones	Seguridad y Salud	Potencialmente reciclables	Relleno como mejor opción	Impacto negativo en la operación del horno
Residuos electrónicos	X	X		X		
Baterías y pilas	X	X		X		X
Residuos hospitalarios infecciosos y biológicamente activos			X			
Ácidos minerales y corrosivos		X	X			X
Explosivos	X		X			X
Asbesto			X		X	
Residuos radioactivos	X		X			
Residuos municipales no clasificados	X	X		X		X

Fuente: Ministerio del Ambiente.  
Elaborado: EL AUTOR.

### **1.3.5. Coprocesamiento de los desechos peligrosos en hornos de cemento.**

Uno de los objetivos principales que persigue la Ecología Industrial es convertir los desechos de una industria en la materia prima de otras y así garantizar el desarrollo sustentable a cualquier nivel: global, regional o local.

En las industrias que requieren gran cantidad de recursos, el coprocesamiento implica el uso de los desechos en los procesos de fabricación con el objetivo de recuperar energía y recursos al reducir el uso de combustibles convencionales y materias primas mediante su sustitución.

El coprocesamiento de los desechos peligrosos en los hornos de cemento permite la recuperación del valor energético y mineral de los desechos a la vez que se fabrica el cemento.

El coprocesamiento de los desechos tiene el propósito útil de sustituir materiales que, de otro modo, tendrían que utilizarse en la fabricación del cemento, y ayuda, así, a la conservación de los recursos naturales. Según el Convenio de Basilea, esto constituye una operación “que puede llevar a la recuperación de recursos, el reciclado, la regeneración, la reutilización directa u otros usos” en las categorías R1 (“utilización como combustible u otros medios de generar energía”) y R5 (“reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas”) de la parte B del anexo IV del Convenio.

Los combustibles fósiles y algunas de las materias primas han sido sustituidos satisfactoriamente por desechos de varias clases en las plantas productoras de cemento de varias partes del mundo desde el principio de la década de 1970. Existen disponibles experiencias de diversas jurisdicciones con el uso de desechos peligrosos y no peligrosos como combustibles y materias primas en hornos de cemento.

De acuerdo al Convenio de Basilea, el coprocesamiento de desechos peligrosos es una alternativa ambiental, social y económicamente sustentable debido a que se reconoce como un método de tratamiento ambientalmente amigable. Esta práctica reduce el uso de combustibles tradicionales, los riesgos sociales por minimizar el contacto de la población con el desecho peligroso (se evita que el desecho llegue a botaderos y sitios de disposición final), además, se promueve la valorización económica del desecho peligroso a través de su aprovechamiento energético. (Ministerio del Ambiente Ecuatoriano, MAE. s.f. p. 325).

Aunque la práctica varía de unas fábricas a otras, la fabricación de cemento puede consumir cantidades significativas de desechos como combustibles y materias primas no combustibles. Este consumo refleja las características del proceso en los hornos de clínker, que aseguran la ruptura completa de las materias primas en los óxidos que las componen y la recombinación de dichos óxidos en los minerales del clínker. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.1989).

El mayor aporte que la industria del cemento puede realizar para mejorar nuestro medio ambiente consiste en la utilización de los hornos de fabricación de clínker, para la eliminación de una manera segura y definitiva de una gran cantidad de residuos, tanto municipales como industriales. Sus hornos de alta temperatura resultan ideales para quemar, fundir y combinar este tipo de materiales.

Hay una amplia variedad en el tipo de residuos que pueden ser utilizados como combustibles, destacándose entre otros, aceites usados, neumáticos, residuos de las industrias petroquímicas, petroleras, químicas etc.

Los materiales y desechos usados para el coprocesamiento se conocen como combustibles alternativos.

El CIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforma de todas las actividades económicas) específico de esta actividad es el E-3822.00 denominado "Operación de instalaciones para el tratamiento de desechos peligrosos, tratamiento y eliminación de animales contaminados, sus cadáveres y otros desechos contaminados incineración de desechos peligrosos, remoción de productos usados, como refrigeradores, con objeto de eliminar los desechos peligrosos tratamiento, remoción y almacenamiento de desechos nucleares radiactivos, incluidos: tratamiento y eliminación de desechos radiactivos de transición, es decir, que se desintegran durante el período de transporte, procedentes de hospitales, encapsulación, preparación y otras formas de tratamiento de desechos nucleares para su almacenamiento". (Ministerio del Ambiente Ecuatoriano, MAE. s.f. p. 326).

El coprocesamiento de residuos peligrosos en hornos de clínker para la fabricación de cemento Portland, consiste en la destrucción por la vía térmica de los mismos. En el horno de producción de clínker se presentan cuatro características especiales que hacen a este el sistema más efectivo y seguro para la incineración de residuos.

La Universidad Central del Ecuador (2015) menciona que estas características son las siguientes:

- Altas temperaturas en la zona de clinkerización, en esta zona del horno se alcanzan temperaturas en la llama del quemador de entre 1.800°C a 2.000° C y de 1.400°C-1.500°C en el material a clinkerizar, alcanzando un estado de sinterización (sólido-líquido) cerca del final del horno.
- Altos tiempos de residencia como consecuencia del tamaño del horno. Los caudales de aire operados, hacen que los tiempos de retención del gas sean de aproximadamente ocho segundos a temperaturas superiores a los 1.200°C en hornos rotatorios, sin considerar el tiempo de residencia en el precalentador. Esto permite que todas las sustancias orgánicas

en fase gaseosa se oxiden completamente a bióxido de carbono y agua, incluso los compuestos orgánicos muy estables.

- Intimo contacto de los gases con la materia prima, debido a que el sistema en la zona de intercambio térmico (precalentador) opera en contracorriente produciéndose el calentamiento del crudo que va a ingresar al horno a expensas del calor que tienen los gases a la salida del mismo. Cabe destacar que los gases ingresan al precalentador de ciclones a 900°C y salen de dicha zona con una temperatura de 340°C, los sólidos en contracorriente ingresan a los ciclones a 80°C y salen del precalentador para entrar al horno a 850°C lográndose una retención excelente de los gases ácidos.
- Los gases que abandonan el precalentador antes de ser descargados a la atmósfera son enfriados desde 340°C hasta 150°C por la inyección de agua a alta presión y posteriormente pasados por un filtro electrostático o uno de mangas de muy alta eficiencia, al poseer una retención superior al 99,9 %.
- Atmósfera oxidante: la combustión se realiza con exceso de aire, por lo que toda la materia orgánica reacciona con el oxígeno formando CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.
- Destrucción de contaminantes orgánicos a causa de las altas temperaturas y tiempos de retención suficientemente largos.
- Incorporación químico-mineralógica de metales pesados introducidos por medio de los residuos o materiales alternativos al proceso de producción de clínker, estos son retenidos en la estructura cristalina de los silico-aluminatos que conforman el clínker. Hay que destacar que la incorporación de estos elementos al clínker no afectan la calidad del mismo, pues son 100 % compatibles con la estructura química del mismo.

#### ***1.3.5.1. Regulación de Emisiones en plantas de cemento que coprocesan desechos peligrosos.***

La regulación establecida en la “Norma Técnica para el Coprocesamiento de Desechos Peligrosos en Hornos Cementeros” por el Acuerdo Ministerial 048 del 13 de Mayo del 2011, establece los requerimientos, condiciones y los límites máximos permisibles de emisiones, bajo los cuales se regula la valorización de aceites usados en las plantas de producción de clínker.

Este instrumento normativo estaba integrado en anexo al Libro VI de la Calidad Ambiental del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente y se añade al conjunto de normas técnicas ambientales para la prevención y control de la contaminación citadas en la Disposición General Primera del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. (Ministerio del Ambiente, MAE, 2011, p. 3).

El 4 de Mayo del 2015 se expide en el Registro Oficial el Acuerdo No. 061 “Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria” donde se menciona que las actividades que generen emisiones a la atmósfera desde fuentes fijas de combustión se someterán a la normativa técnica y administrativa establecida en el Anexo III y en los Reglamentos específicos vigentes, lo cual será de cumplimiento obligatorio a nivel nacional. (Capítulo VIII, Sección III, Parágrafo IV, Art. 221, p. 48).

El Acuerdo Ministerial No. 028 del Ministerio del Ambiente sustituyó el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria y es el que regula los Límites Máximos de concentraciones de emisiones al aire para procesos específicos, en este caso para la producción de cemento

La tabla anexada a continuación fija los límites máximos de las emisiones de partículas, Óxidos de Nitrógenos y Dióxido de azufre en tres subprocesos de la producción de cemento sin coprocesamiento de desechos peligrosos, medidos en tres subprocesos:

- Horno.
- Enfriadora de clínker.
- Molienda de cemento.

Tabla 16: Límites máximos de concentraciones de emisión al aire para la producción de cemento (mg/Nm<sup>3</sup>) (Sin Coprocesamiento).

<b>Contaminante</b>	<b>Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento antes de enero de 2003</b>	<b>Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento desde enero de 2003 hasta fecha publicación de la reforma de la norma</b>	<b>Fuente fija nueva: con autorización de entrar en funcionamiento a partir fecha publicación de la reforma de la norma</b>	<b>Observaciones</b>
Partículas Totales	120	62,8	50	Gases de combustión de horno rotatorio
Partículas Totales	80*	62,8	50	Enfriador de clínker
Partículas Totales	150*	100	50	Molienda de clínker
Óxidos de Nitrógeno	1400	1300	1100	Gases de combustión de horno rotatorio
Dióxido de azufre	800	600	470	Gases de combustión de horno rotatorio

mg/Nm<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, 760 mmHg de presión y temperatura de cero grados centígrados (0 °C), en base seca y corregidos al 10% de oxígeno (O<sub>2</sub>).

No se aplica la corrección por oxígeno.

Fuente: MAE, Acuerdo Ministerial 028. Reforma Tulas Libro VI. p. 130.

Elaborado: EL AUTOR.

La mencionada norma legal obliga a todas las plantas cementeras que estén funcionando en el Ecuador a instalar un sistema de monitoreo continuo de las emisiones de combustión de los hornos productores de clínker que deberá cubrir al menos el 90% del período anual.

Los niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera, las frecuencias y métodos de medición establecidos para los hornos de producción de clínker que utilicen desechos peligrosos como combustible alternativo para el co-procesamiento son los indicados en la siguiente tabla:

Tabla 17: Valores límite de emisión para coprocesamiento de residuos en hornos cementeros.

<b>Niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera <sup>(1)</sup></b>			
<b>Contaminante</b>	<b>Concentración mg/Nm<sup>3</sup></b>	<b>Frecuencia de medición</b>	<b>Método</b>
HCl	10	Anual	Infrarrojo no dispersivo Analizador continuo; NIOSH 7903; EPA 26 <sup>a</sup> , 13B; **Sensores electroquímicos
NOx	1400	Semestral y continuo	Quimioluminiscencia EPA 7E, EPA 7/7A/7C/7D; Res. Col. 03194/83; +Arsenito de sodio; Apéndice F, parte 50* ; **Sensores electroquímicos
NH <sub>3</sub>	30	Anual	EPA CTM-027-1998
SO <sub>2</sub>	800	Semestral y continuo	Infrarrojo no dispersivo EPA 6C; EPA 6/6A/6B; EPA 8; Res. Col. **Sensores electroquímicos
VOCs	20 <sup>(2)</sup>	Anual y continuo	GC-FID, EPA 25 A-2000
Benceno	5	Anual	NIOSH 1501-2003
Partículas totales o material particulado	80	Semestral y continuo	Isocinético
Sb, As, Ni, Mn, Pb, Cr, V, Co, Cu	0.8 <sup>(3)</sup>	Anual	Espectrometría de absorción atómica o equivalente
Cd y Tl	0.08	Anual	
Hg	0.08	Anual	
Dioxinas y Furanos ngTEQ/m <sup>3</sup>	0.2	Anual	VDI 3499 parte 2 de Alemania, 1948 - 2/3 de la Comunidad Económica Europea EPA 23, 23 <sup>a</sup> (Muestreo), 8280A y 8290 (Análisis)

(1) Condiciones normales, base seca, corregido al 7% de Oxígeno (O<sub>2</sub>) en volumen

(2) Sobre la línea base (medición con combustible fósil).

(3) Suma total de metales

(\*) of National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards-USEPA NAAQS

(\*\*) Los instrumentos utilizados en el método de sensores electroquímicos (no métodos equivalentes o de referencia) deberán ser calibrados de acuerdo a método EPA establecido.

Fuente: Acuerdo Ministerial 048. Norma Técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en hornos cementeros. p. 12.

Elaborado: EL AUTOR.

Una de las principales obligaciones de las empresas que utilicen el método de coprocesamiento es que no pueden emitir al aire dioxinas, furanos y PCBs.

Tabla 18: Dioxinas y Furanos y PCBs coplanares (no-orto y mono-orto) de tipo Dioxinas.

<b>Dioxinas y Furanos</b>		<b>Factor de equivalencia</b>
2,3,7,8 (TCDD)	Tetraclorodibenzodioxina	1.0
1,2,3,7,8 (PeCDD)	Pentaclorodibenzodioxina	1.0
2,3,7,8 (TCDF)	Tetraclorodibenzofurano	0.1
2,3,4,7,8	Pentaclorodibenzofurano (PeCDF)	0.5
<b>GRUPO 2</b>		
1,2,3,4,7,8	Hexaclorodibenzodioxina (HxCDD)	0.1
1,2,3,7,8,9 (HxCDD)	Hexaclorodibenzodioxina	0.1
1,2,3,6,7,8 (HxCDD)	Hexaclorodibenzodioxinag	0.1
1,2,3,7/4,8 (PeCDF)	Pentaclorodibenzofurano	0.05
1,2,3,4,7,8/9 (HxCDF)	Hexaclorodibenzofurano	0.1
1,2,3,7,8,9 (HxCDF)	Hexaclorodibenzofurano	0.1
1,2,3,6,7,8 (HxCDF)	Hexaclorodibenzofurano	0.1
2,3,4,6,7,8 (HxCDF)	Hexaclorodibenzofurano	0.1
<b>GRUPO 3</b>		
1,2,3,4,6,7,8 (HpCDD)	Heptaclorodibenzodioxina	0.01
1,2,3,4,6,7,8,9 (OCDD)	Octaclorodibenzodioxina	0.0001
1,2,3,4,6,7,8 (HpCDF)	Heptaclorodibenzofurano	0.01
1,2,3,4,7,8,9 (HpCDF)	Heptaclorodibenzofurano	0.01
1,2,3,4,6,7,8,9 (OCDF)	Octaclorodibenzofurano	0.0001

Fuente: TULAS, Libro V, Norma técnica para rellenos de seguridad 2003.

Elaborado: EL AUTOR.

La Constitución Política de la República del Ecuador (2008) en el Texto Unificado de Legislación Secundaria y Medio Ambiente (TULSMA) Libro VI: Calidad Ambiental, menciona que los aspectos más importantes de esta regulación son:

“El desarrollo del principio de Responsabilidad del Productor, que obliga a los fabricantes o importadores de aceites a participar económicamente en la gestión de los aceites usados; cada fabricante debe garantizar la correcta gestión para una cantidad de aceites usados

proporcional a la cantidad de aceite nuevo que pone en el mercado, con independencia de que el coste sea trasladado a los usuarios como parte del precio”.

Introduce la figura de los Sistemas Integrados de Gestión para que asuman las responsabilidades de los productores de aceites, especialmente en la financiación de la gestión; los comercializadores de aceites no asociados deben asumir su responsabilidad como productores de forma individual.

Establece un orden de prioridades para la gestión de los aceites usados, basadas en la prevención de la generación, primando la regeneración, seguida de otras formas de reciclado, de la valorización energética y de la eliminación.

Establece objetivos ecológicos para la recogida, regeneración y la valorización de los aceites usados, responsabilizando a los productores de los mismos, directamente o a través de los SIG, de la consecución de los mismos”.

Junto a los puntos anteriores, se mantiene el carácter de residuo peligroso para todos los tipos de aceites usados y la obligación de los productores de los mismos de gestionarlos de acuerdo con esta clasificación, garantizando su entrega a un gestor autorizado para su valorización o eliminación.

#### **1.4. Aceites usados o de desecho.**

Según La Ley 20/1986 Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos de la Legislación española, Aceites Usados son “Todos los aceites industriales con base mineral o sintética, lubricantes que se hayan vuelto inadecuados para el uso que se les hubiere asignado inicialmente y, en particular, los aceites usados de los motores de combustión y de los sistemas de transmisión, así como los aceites minerales lubricantes, aceites para turbinas y sistemas hidráulicos.”

La definición regulativa de la EPA (United States Environmental Protection Agency) para aceite usado es la siguiente: “Aceite usado es cualquier aceite que haya sido refinado del petróleo crudo o cualquier aceite sintético que haya sido usado y como resultado de tal uso esté contaminado con impurezas físicas o químicas”.

En otras palabras: aceite usado es exactamente lo que su nombre implica, cualquier aceite proveniente de petróleo crudo o sintético que haya sido utilizado en una maquinaria. Durante el uso normal del aceite, puede mezclarse con impurezas tales como polvo, partículas de metal, agua, y productos químicos que afecten a la larga el rendimiento de dicho aceite.

Como aceite usado se denomina no solamente a los aceites automotrices sino a una serie de productos como los aceites dieléctricos utilizados para enfriamiento de los transformadores eléctricos, grasas minerales o sintéticas y lubricantes de corte que ya han cumplido con su ciclo productivo.

Las fuentes más grandes de generación de aceite usado son los vehículos motorizados (incluye típicamente a los aceites de los motores a gasolina y diésel y el que se utiliza en la transmisión), los sistemas hidráulicos de diferentes maquinarias, aceites de enfriamiento de transformadores y otras aplicaciones industriales.

La vida útil del aceite mineral, a pesar de los aditivos que alargan su duración, es limitada. Los aceites van perdiendo sus propiedades hasta que deben sustituirse por un aceite nuevo porque no pueden cumplir con los requerimientos para los que fue hecho.

La gran cantidad de aceite que se usa actualmente hace que este sea el residuo líquido tóxico y peligroso que se genera en mayor cantidad en todo el mundo.

#### **1.4.1. Riesgos para la salud y el medio ambiente asociados a los aceites usados.**

Los aceites se consideran potencialmente peligrosos para el medio ambiente debido a su persistencia en el tiempo y la facilidad con la que pueden esparcirse ocupando grandes superficies de suelo y del agua. El aceite forma una película sobre la superficie del agua que impide el ingreso de oxígeno, lo que produce una rápida degradación de la calidad del ambiente.

El aceite es la principal causa de contaminación de las fuentes de agua, porque al ser vertido en el terreno además de contaminar el suelo, puede infiltrarse contaminando el agua subterránea, o ser arrastrado por el agua lluvia y contaminar los cursos de aguas.

El aceite usado de motor contiene hidrocarburos que no son biodegradables biológicamente y si son vertidos a la tierra destruyen el humus vegetal convirtiendo infértil al suelo y puede contaminar las aguas subterráneas.

Debido a que generalmente, el aceite usado es comercializado como combustible alternativo gracias a su poder calorífico, otro de los problemas ambientales en que se ve incurrida su mala gestión, son las emisiones gaseosas que se originan en la combustión en condiciones no adecuadas. Este procedimiento genera la degradación del medio ambiente por la gran cantidad de contaminantes, particularmente aquellos asociados con contenidos de metales como cadmio, cromo, plomo, entre otros, que son emitidos a la atmósfera durante el proceso de combustión. Estos compuestos químicos producen un efecto directo sobre la salud humana y varios de ellos son cancerígenos.

La anterior situación se agrava, si a ello se suman prácticas deficientes de manejo del lubricante usado una vez fuera del cárter del motor y que ponen en contacto al aceite con otros productos de desecho tales como disolventes, líquido de frenos, residuos sólidos como trapos, papeles y demás, lo que finalmente resulta en una mezcla heterogénea de compuestos, la mayoría de ellos altamente peligrosos. Y si además los lubricantes usados se vierten en forma irresponsable a través de los sistemas urbanos de drenaje, se logra una dispersión totalmente incontrolable de contaminantes altamente tóxicos, con graves impactos sobre el ambiente y la salud pública. (Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia. 2006).

#### **1.4.2. Consumo y disposición de aceite automotriz en Ecuador.**

Serrano D. Carlos, (2012) menciona que en Ecuador durante el 2011, se consumió un total de 25'480.281 galones que fueron destinados para:

- Sector Automotriz      73.29%
- Sector Industrial        26,71%

Según datos entregados por Serrano D. Carlos, (2012), en ese mismo año se han generado 16'335.867 (64.11%) galones de "aceite usado", lo que significa que 9'144.414 galones se han perdido por combustión y goteo (35.89%).

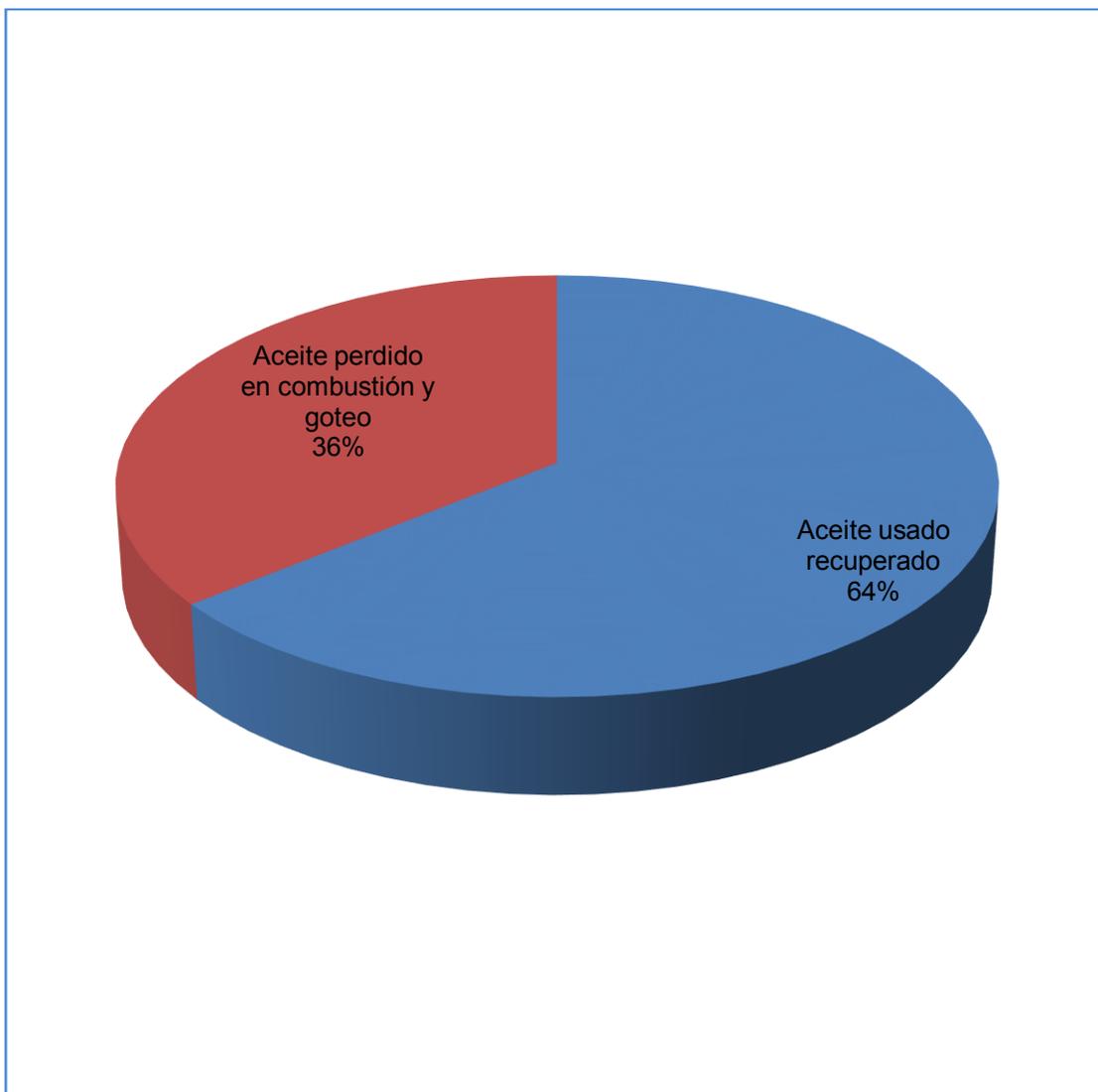


Figura 6: Disposición del aceite automotriz

Fuente: Serrano D. Carlos, (2012).  
Elaborado: EL AUTOR.

Así mismo, según Serrano D. Carlos, (2012), 5'048.012 galones (30.9%) fueron gestionados y dispuestos con gestores autorizados. 1'823.904 galones fueron utilizados de diferentes formas, siendo su disposición final mayoritaria, el uso como combustible en hornos artesanales sin licencia ambiental, representando un 11,17%. Pero hay un 57,93% (9'463.951 galones) cuyo destino es desconocido.

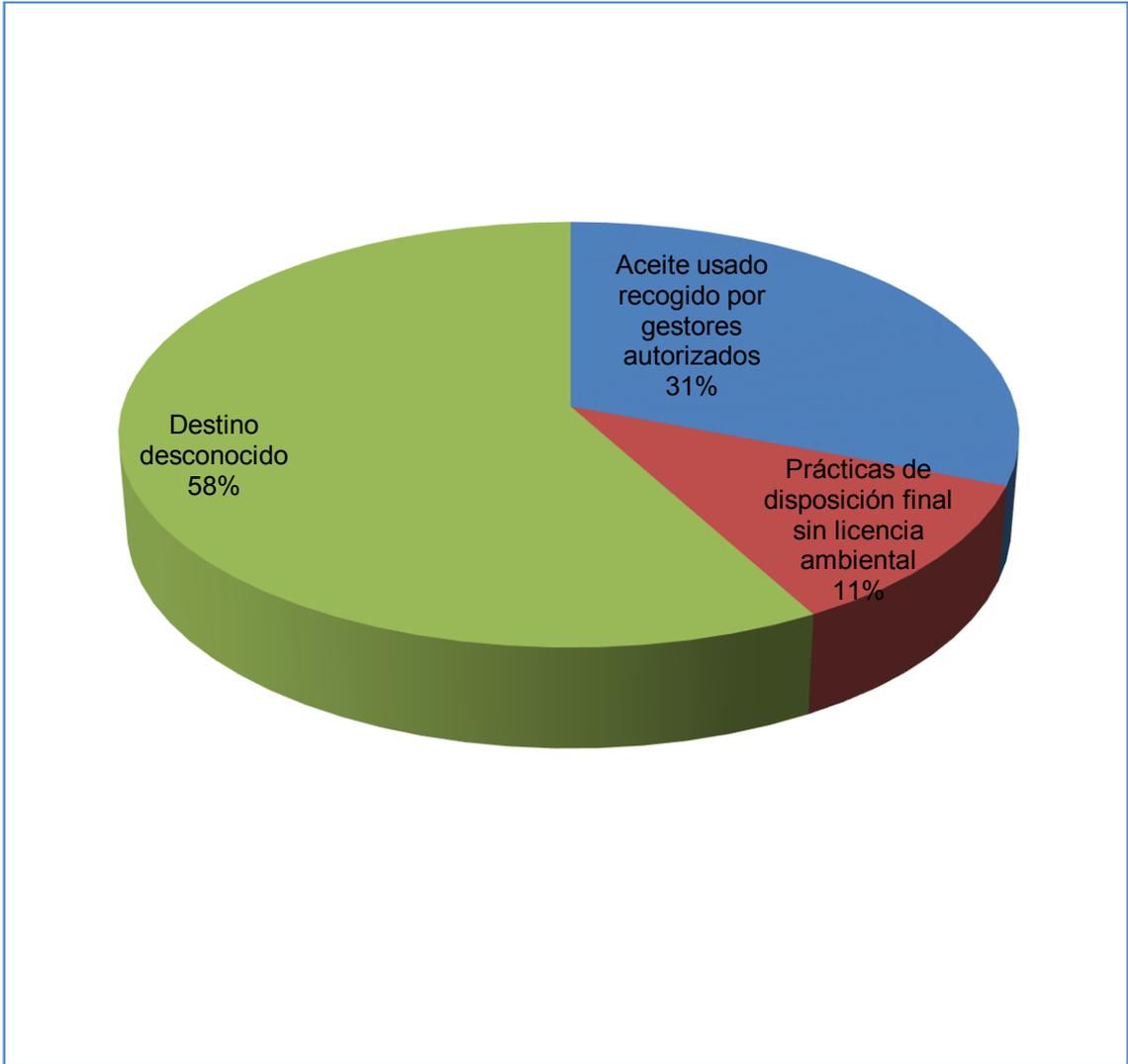


Figura 7: Disposición final del aceite usado en Ecuador en porcentaje.

Fuente: Serrano D. Carlos, (2012).

Elaborado: EL AUTOR.

Se han encontrado resultados inquietantes por las prácticas de disposición final, porque los aceites usados se están utilizando como combustibles en forma indiscriminada y sin ningún tipo de tratamiento especialmente en hornos artesanales ladrilleros y caleros.

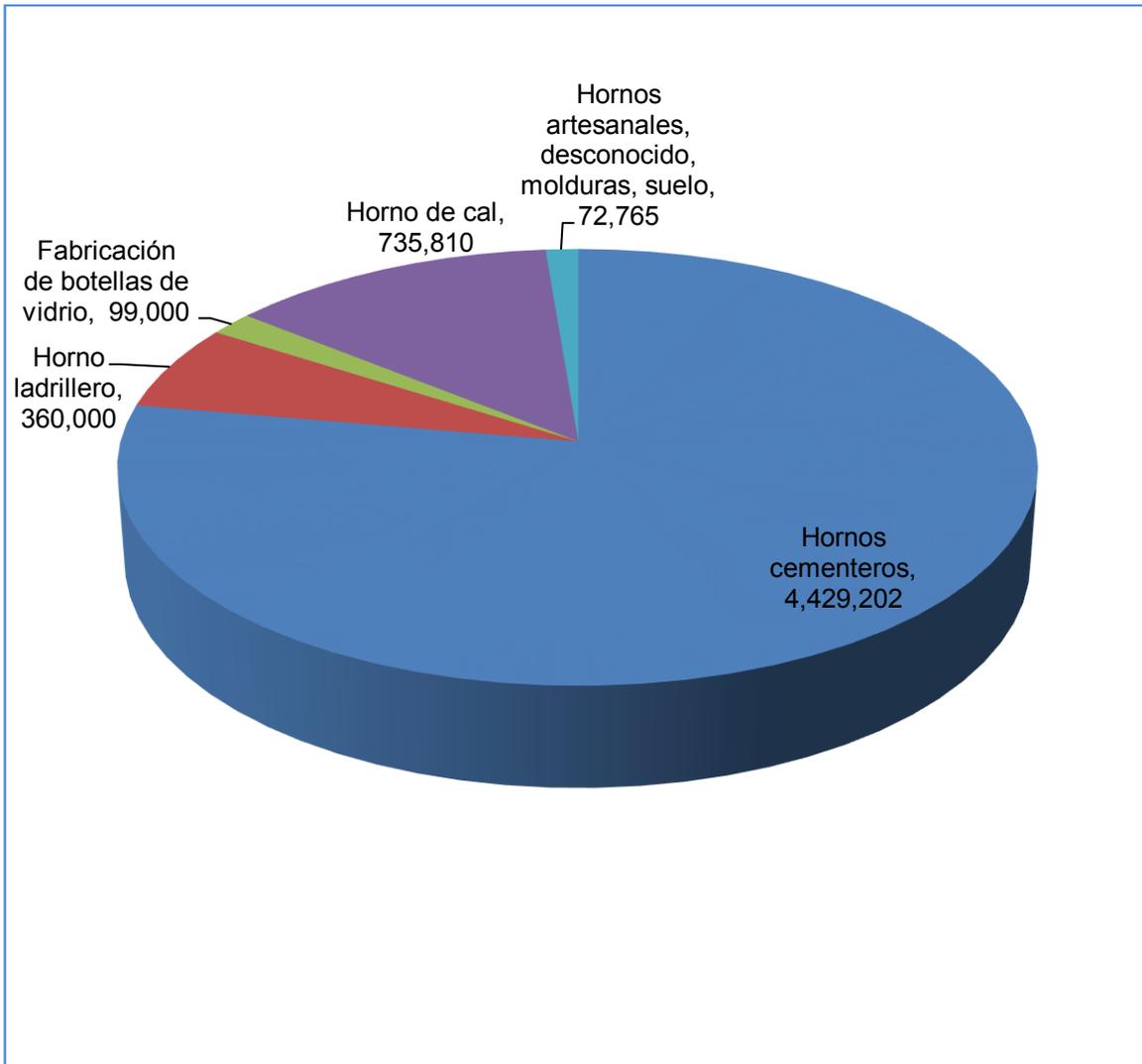


Figura 8: Disposición Final del aceite usado expresado en galones.

Fuente: Serrano D. Carlos, (2012).  
Elaborado: EL AUTOR.

### 1.4.3. Características de los aceites usados.

Las propiedades de las bases lubricantes son las que determinarán las propiedades de los aceites usados, pero también los aditivos adicionados para mejorar la viscosidad, el poder detergente y la resistencia a las altas temperaturas. Además, por efecto de trabajo realizado, contiene sólidos, metales y productos orgánicos.

Las bases lubricantes son fracciones de petróleo obtenidas en las etapas de destilación al vacío de crudos seleccionados y que luego de ser sometidos a diversos tratamientos,

presentan características apropiadas para la formulación de aceites lubricantes de óptima calidad.

Los aditivos son sustancias químicas, cuya función es proporcionar o mejorar las características deseables al aceite básico o para eliminar o minimizar aquellas que resulten indeseables y que puedan ocasionar problemas durante su uso en los diferentes sistemas mecánicos. Los tipos más importantes de aditivos incluyen antioxidantes, aditivos antidesgaste, inhibidores de corrosión, mejoradores de viscosidad e inhibidores de espuma.

#### **1.4.4. Composición de los aceites usados.**

Los aceites lubricantes están compuestos por una mezcla de una base mineral o sintética con aditivos (1-25%). Durante su vida útil se contaminan con diversas sustancias como:

- Partículas metálicas ocasionadas por el desgaste de las piezas en movimiento y fricción.
- Compuestos con plomo procedente de las gasolinas.
- Ácidos orgánico o inorgánicos originados por oxidación o de azufre de los combustibles.
- Compuestos de azufre.
- Restos de aditivos: fenoles, compuestos de zinc, cloro, y fósforo.
- Compuestos clorados: disolventes, PCBs y PCTs.
- Hidrocarburos poli nucleares aromáticos (PNA).
- Pesticidas.
- Residuos tóxicos de cualquier tipo.

La cantidad de plomo presente en el aceite usado oscila del 1 al 1,5 % en peso y proviene de las gasolinas y de los aditivos.

Martínez, (2005) en la siguiente tabla presenta los valores típicos de composición de los aceites minerales, indicando los diferentes aditivos, los cuáles en términos generales permiten aumentar su rendimiento, eficiencia y vida útil.

Tabla 19: Composición de un aceite lubricante.

<b>Composición media de un aceite lubricante</b>	
Hidrocarburos totales (85 - 75%)	
Alcanos	45 - 76%
Cicloalcanos	13 - 45%
Aromáticos	10 - 30%
Aditivos (15 - 25%)	
Antioxidantes	Ditiofosfatos, fenoles, aminas
Detergentes	Sulfonatos, fosfonatos, fenolatos
Anticorrosivos	Ditiofosfatos de zinc y bario, sulfonatos
Antiespumantes	Siliconas, polímeros sintéticos
Antisépticos	Alcoholes, fenoles, compuestos clorados.

Fuente: Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos.  
Elaborado: EL AUTOR.

En su Manual emitido, la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., (2003) indica que los aceites usados se contaminan con una o varias de las siguientes sustancias:

- Agua.
- Partículas metálicas ocasionadas por el desgaste de piezas en movimiento o por fricción.
- Compuestos organometálicos conteniendo plomo.
- Ácidos originados por oxidación o por el azufre presente en los combustibles.
- Compuestos de azufre.
- Compuestos halogenados.
- Metales pesados.
- Residuos de aditivos y otros elementos tales como fenoles, compuestos de zinc, cloro y fósforo.
- Bifeniles policlorados (PCB's) y Terfeniles Policlorados (PCT's).
- Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH).
- Otras sustancias cuya presencia es imprevisible, tales como, pesticidas o residuos tóxicos de otro tipo.

#### **1.4.5. Alternativas de Gestión Integral de los Aceites Usados.**

A continuación se presentan cuatro alternativas para la gestión integral de los aceites usados, ordenadas según los principios ambientales.

- Reutilización, si la calidad del aceite lo permite o si este ha sido previamente tratado para remover contaminantes insolubles o productos derivados de la oxidación.
- Regeneración, utilizando distintos tratamientos es posible recuperar las bases lubricantes del aceite original, de manera que puedan ser aptas para una nueva reformulación y por consiguiente su utilización. Esta práctica es inviable por la dificultad y el costo del proceso.
- Valorización energética como combustible en calderas industriales, hornos de cemento y cal, en hornos de ladrillo, u hornos metalúrgicos. Debido a la alta temperatura de combustión y las propiedades de absorción del cemento, cal y arcilla, los hidrocarburos peligrosos se destruyen y los metales pesados, azufre y cloruros son absorbidos. Los posibles efectos de contaminación del aire se ven minimizados con sofisticados sistemas de limpieza de gas, con que cuentan las plantas modernas.
- Destrucción en incineradores de residuos peligrosos se utiliza sobre todo cuando se comprueba la imposibilidad de reutilización debido a la presencia de ciertos tipos y niveles de contaminantes nocivos. Es el caso, por ejemplo, de la presencia de PCB, que sólo se destruyen satisfactoriamente mediante este proceso.

#### **1.4.6. Valorización energética de los aceites usados.**

El Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia, (2001) menciona que la valorización energética es una de las posibles vías de aplicación de los aceites usados al utilizarlos como combustible en plantas industriales de fabricación de cemento.

En los hornos de las plantas de fabricación de cemento se requieren altas temperaturas para transformar las materias primas en cemento. Estas materias primas son altamente alcalinas. Por tanto, estos hornos tienen condiciones ideales para la recuperación energética de los aceites usados en condiciones respetuosas con el medio ambiente. Elementos contaminantes como hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos clorados y metales pesados se destruyen en las plantas de producción de cemento

De las experiencias existentes en la actualidad se deduce que cuando se utilizan aceites usados como sustitutos de combustibles convencionales, no se aprecian incrementos significativos en cuanto a emisiones de partículas en la atmósfera, en particular de compuestos orgánicos, dioxinas, furanos y otros.

La alcalinidad de las materias primas neutraliza compuestos como óxidos de azufre y de nitrógeno, cloruros de hidrógeno, y por tanto reducen las emisiones en la atmósfera de estos gases.

Otras partículas de menor tamaño son recogidas mediante precipitación electrostática o mediante filtros, siendo posteriormente devueltas a los hornos.

#### **1.4.7. Limitaciones a la sustitución con combustibles alternativos.**

La utilización de residuos y subproductos como combustibles alternativos no debe perjudicar el comportamiento ambiental de la instalación ni dificultar la operación de la fábrica o afectar a la calidad del cemento. Las limitaciones en cuanto a los tipos de residuos derivan de los considerandos anteriores.

La presencia de cloro en el horno puede dar lugar a problemas de pegaduras y atascos durante el proceso de fabricación. Además, el contenido en cloro en el cemento está limitado al 0,1 % en peso, por lo que debe garantizarse que el empleo de combustibles alternativos no introduzca cantidades significativas de cloro en el proceso. Cualquier ingreso de cloro en presencia de material orgánico puede generar potencialmente la formación de PCDD y PCDF en procesos térmicos (combustión). (Anónimo, n.d.)

Por otra parte los metales más volátiles (Hg, Tl) no son retenidos al 100% por la acción del horno, por lo que se emplean residuos con contenidos lo suficientemente bajos de estos elementos.

Tampoco pueden tratarse residuos radioactivos.

En cuanto a los residuos orgánicos de origen sanitario u hospitalario, las empresas cementeras son reacias a utilizarlos debido al alto riesgo sanitario que supone su manipulación, aunque no hay limitaciones tecnológicas que lo justifiquen.

Las autoridades ambientales competentes establecen en los permisos las limitaciones en cuanto a composición y cantidad de residuos, de forma que se garantice la compatibilidad ambiental de la actividad. También establecen los límites de emisión que debe respetar la instalación durante la combustión de los residuos, los cuales son normalmente más estrictos que los límites habituales, intentando que el ahorro de costes energéticos obtenido por el operador revierta de alguna forma en inversiones y mejoras ambientales añadidas.

Las emisiones atmosféricas de las plantas de cemento están relacionadas, básicamente, con la emisión de partículas sólidas y con la emisión de gases procedentes de la combustión de los combustibles utilizados.

Para evitar, o controlar, las emisiones de partículas todas las plantas están equipadas con diferentes sistemas de separación de partículas, mediante filtros electrostáticos o mediante filtros de mangas; este desempolvado se aplica tanto a las líneas de proceso principal como a las de molienda de materias primas y productos terminados; las partículas separadas, clínker o materias primas, son reintroducidas al horno o añadidas al clínker en la fase de preparación de cemento.

Las emisiones de gases ácidos y  $\text{SO}_2$  típicas en los procesos de combustión, son generalmente bajas por la naturaleza alcalina del proceso y son razonablemente independientes del tipo de combustible que se utilice (fuel oil o pet coke); las emisiones de  $\text{NO}_x$  pueden ser más elevadas que otros procesos de combustión, por las altas temperaturas a que se producen y por el elevado tiempo de permanencia a esas temperaturas.

Cuando no se utilizan residuos, los límites de emisión establecidos en la Legislación ecuatoriana son diferentes, y están recogidos en la Norma de "Emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión" incluida en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍA**

## **2.1. Diseño Metodológico.**

### **2.1.1 Tipo de Investigación.**

El presente trabajo es una Investigación Aplicada relacionada con las operaciones de los hornos cementeros de UNACEM Ecuador S.A con “aceite usado” como combustible alternativo; los datos a obtenerse serán producto de investigaciones de campo.

### **2.1.2. Metodología seguida.**

La Investigación fue desarrollada en cuatro fases:

- Fase I, recolección de datos.

Se han seguido, básicamente, dos procedimientos de obtención de los datos necesarios para el desarrollo del estudio:

- Los datos de carácter primario han sido recopilados y obtenidos por el investigador mediante la observación científica, haciendo uso de los instrumentos de operación que se encuentran en las salas de control de los hornos de UNACEM Cementos S.A.
- Para los datos de carácter general o secundarios, referidos a sustitución de combustibles tradicionales por alternativos en diferentes países se han utilizado las informaciones publicadas de diversas instituciones (Asociaciones empresariales cementeras, Departamentos de Medio Ambiente de diferentes países, Memorias de Sostenibilidad o de Gestión de los propios grupos cementeros correspondientes a los últimos años, etc.) así como gran cantidad de informaciones puntuales, recogidas en Internet y relacionadas con el asunto fundamental del estudio.

- Fase II, Parámetros a evaluar.

Por medio de los datos obtenidos en la fase anterior, se tomaron criterios y parámetros del proceso de combustión con diferentes porcentajes de sustitución con aceite usado.

- Fase III, Descripción del proyecto.

En esta fase se describió detalladamente el proyecto de valorización energética del aceite usado en hornos los cementeros de UNACEM Ecuador.

- Fase IV, Estudio de factibilidades.

Para verificar la factibilidad legal ambiental se compararon los resultados obtenidos por los monitoreos realizados por Laboratorios acreditados con los valores establecidos en la norma y la frecuencia del monitoreo.

Para la factibilidad técnica se tomaron en cuenta los porcentajes de sustitución diarios del HFO con aceite usado y constatar si afectaban de alguna manera la fiabilidad de los hornos.

La factibilidad económica se demostró al comparar el costo de la unidad de energía térmica que cada combustible puede entregar y verificar el ahorro resultante de la utilización de aceite usado en lugar del HFO.

El desarrollo de la investigación se encuentra enmarcado en el concepto de investigación mixta, conjugándose entre sí las estrategias de investigación descriptiva, experimental y evaluativa.

**Descriptiva** porque, los datos de carácter general, referidos a sustitución de combustibles tradicionales por alternativos en diferentes países y aspectos técnicos generales se han recopilado de informaciones publicadas de diversas instituciones (Asociaciones empresariales cementeras, Departamentos de Medio Ambiente de diferentes países, Memorias de Sostenibilidad o de Gestión de los propios grupos cementeros correspondientes a los últimos años, etc.) así como gran cantidad de informaciones puntuales, recogidas en Internet y relacionadas con el asunto fundamental del estudio.

El diseño de la investigación mencionada y justificada es **Experimental**, porque se manipula deliberadamente la variable independiente (cantidad de aceite usado inyectado) para analizar las consecuencias que esta manipulación tiene sobre la variable dependiente (nivel de emisiones a la atmósfera), dentro de condiciones controladas por el investigador. Adicionalmente la magnitud de la correlación entre las variables es grande.

Se estableció una línea base (Trial Burn) de criterios físico-químicos (valores límites) previo al uso del combustible alternativo y luego se realizaron pruebas con diferentes porcentajes de aceite usado en el mix de combustibles inyectados a los hornos.

## **2.2. Actividades a realizar.**

- Determinar si las actividades de coprocesamiento de aceite usado en los hornos de cemento desarrolladas por la UNACEM Ecuador, cumplen con los requisitos operacionales ambientales vigentes para el coprocesamiento de residuos peligrosos expuestos en la Norma Técnica para el Coprocesamiento de Desechos Peligrosos en Hornos Cementeros, Libro VI de la Calidad Ambiental del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.
- Determinar el ahorro económico al utilizar aceite automotriz usado como combustible alternativo en los hornos de UNACEM Ecuador.
- Determinar la factibilidad técnica del proyecto comparando las fiabilidades de los hornos comprendidas entre el período que va desde el 2012 hasta el 2014 con la presentada en el 2015, cuando se utilizó el residuo como combustible alternativo.
- Conocer las normativas y los aspectos legales que regulan las emisiones durante el coprocesamiento de “aceite usado” como combustible alternativo en hornos cementeros.
- Cumplir con la normativa ambiental vigente, para asegurar que la planificación, puesta en marcha y utilización del proyecto de coprocesamiento de desechos peligrosos en la planta de UNACEM Ecuador, se realicen de forma técnica y ambientalmente responsable.

## **2.3. Hipótesis.**

### **2.3.1. Hipótesis de Investigación.**

**Hi:** La valorización energética de las grasas, lubricantes y el aceite usado en los hornos cementeros 1 y 2 de UNACEM Ecuador es medioambientalmente factible porque los niveles máximos de emisiones a la atmósfera están encuadrados dentro de las normas ambientales de la legislación ecuatoriana.

### **2.3.2. Hipótesis Nula.**

**Ho:** La valorización energética de las grasas, lubricantes y el aceite usado en los hornos cementeros 1 y 2 de UNACEM Ecuador no es medioambientalmente factible porque los niveles máximos de emisiones a la atmósfera no están encuadrados dentro de las normas ambientales de la legislación ecuatoriana.

### **2.3.3. Variables.**

La variable a manipular será la cantidad de aceite usado que se inyecta en los hornos cementeros y se verificarán los niveles de las emisiones para que se encuadren dentro de la normativa legal.

Se han establecido las siguientes variables:

- Dependientes

Nivel de emisiones a la atmósfera.

- Independientes

La sustitución del combustible líquido que se proyecta alcanzar en los hornos cementeros de la planta de UNACEM Ecuador, una vez que entre en operación el proyecto, es de alrededor de 30.000 galones diarios lo que representa entre 10 y 20% del consumo total de combustibles. Se pretende alcanzar paulatinamente este volumen empezando desde 100.000 galones mensuales, en el lapso de un año.

Esta planificación podría verse afectada por problemas en el suministro del aceite usado.

## **2.4. Localización geográfica y político – administrativa de UNACEM ECUADOR S.A.**

Las instalaciones de la planta industrial de UNACEM Ecuador S.A, se ubican en la Provincia de Imbabura, Cantón Otavalo, Parroquia de Quichinche. La georeferenciación basada en el Datum Horizontal WGS-84, tiene las siguientes coordenadas: Latitud N 10'027.000, Longitud: E 799.500 a una altura de 2720 msnm, en el Km 7 ½ vía Selva Alegre, Sector Perugachi.

A la planta de procesamiento de cemento se accede desde la ciudad de Quito, siguiendo la carretera de primer orden Quito – Tabacundo – Otavalo; y desde Otavalo por la vía Otavalo – Selva Alegre, hasta el km. 7 ½ donde se encuentran las instalaciones de la planta.

El sitio donde funciona la planta industrial es de propiedad de la empresa mencionada, la misma que tiene un área aproximada de 129 hectáreas comprendidas entre la vía a Selva Alegre al Sur, curso del río Blanco al Norte y carretera a Gualsaquí al Este, de las cuales 30 hectáreas aproximadamente se emplean para la planta industrial cementera (infraestructura civil e instalaciones), las restantes 99 hectáreas son de protección y amortiguamiento conformadas por zonas verdes, bosques andrógenos de pinos y eucaliptos y la mina de arcilla para la materia prima.

UNACEM Ecuador S.A., es una sociedad dedicada a la producción y comercialización de cemento, así como también a la gestión y coprocesamiento de residuos tales como aceites automotrices usados, escoria de fundición de hierro e yeso que proviene de moldes de la industria sanitaria. Cuenta con las autorizaciones ambientales y sanitarias que permiten el desarrollo del co-procesamiento en sus hornos cementeros.

## **2.5. Técnicas e Instrumentos.**

La Segunda Disposición Transitoria de la Norma de Coprocesamiento indica que: “Las empresas cementeras deberán contar con el equipo para el monitoreo continuo de emisiones establecidas en la tabla 2, en un plazo de 24 meses contados a partir de la vigencia de la norma”.

Actualmente las dos líneas de producción, en las chimeneas principales tienen analizadores de emisiones continuos y en línea cuyos resultados son visibles en las pantallas de operación ubicados en las salas de control. El analizador de la línea 1 funciona desde Diciembre del 2015, mientras que el de la línea 2 entró en funcionamiento en Junio del 2015. Estos permiten verificar el cumplimiento de los límites establecidos para emisiones y es una garantía para el control permanente de la operación.

Los analizadores de emisiones de las dos líneas son idénticos y están compuestos de:

- Analizador de gases CLD 600, que mide mediante quimioluminiscencia la concentración de óxidos de nitrógeno (NO o NO<sub>x</sub>)

- Analizador de gases ULTRAMAT 23, permite medir simultáneamente hasta cuatro componentes gaseosos: Monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y Oxígeno (O<sub>2</sub>).
- Analizador de gases FIDAMAT, que es un analizador adecuado para la medición total y continua de hidrocarburos que mide las trazas VOC's en los gases.

Adicionalmente, para cumplir la normativa legal y con fines de calibración, UNACEM Ecuador contrata la realización de muestreos trimestrales de emisiones de los gases de combustión de los Hornos 1 y 2. Los monitoreos del período 2015 fueron realizados por el Laboratorio de Análisis Ambiental en Inspección (LABCESITA), laboratorio acreditado en el OAE. Las pruebas se realizaron con el objetivo de cumplir la Norma Técnica N° 048 del Ministerio de Ambiente del Ecuador, Norma Técnica para el Coprocesamiento de Desechos Peligrosos en Hornos cementeros, los parámetros analizados son: Cloruro de hidrógeno (HCl), Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Amoníaco (NH<sub>3</sub>), Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), VOC's (THC), Benceno, Material Particulado, Metales pesados (Sb, As, Ni, Mn, Pb, Cr, V, Co, Cu, Cd, Tl, Hg, Zn, Se y Sn) y Dioxinas – Furanos.

Los hornos de clínker de UNACEM Ecuador, poseen un sistema de supervisión automático para el monitoreo y control operacional del proceso, que hacen posible su operación a través de dos salas de control de los hornos, donde se reciben y registran todas las variables involucradas en la producción de clínker en tiempo real, pudiendo ser almacenadas en impresiones gráficas.

Los hornos cuentan con un sistema de supervisión mediante el cual se monitorean las condiciones de operación requeridas para el uso de combustibles alternativos dentro de las cuales se destacan:

- La temperatura de clinkerización
- Niveles de oxígeno y CO de los gases de combustión de salida de los hornos.
- Temperatura de gases a la entrada de los precipitadores electrostáticos
- Funcionamiento de los campos de los precipitadores electrostáticos.
- Alimentación de crudo al horno
- Funcionamiento de los quemadores principales.

Estos parámetros aseguran que la alimentación de combustibles alternativos se realice bajo condiciones estables del horno sin afectar la calidad del producto final; permitiendo el cumplimiento de la norma de coprocesamiento, protegiendo la integridad de las personas e instalaciones; y optimizando el uso de la energía en la producción de clínker.

Para cumplir con los objetivos antes mencionados, se cuenta además con sistemas de control de fallas (alarmas) y sistemas preventivos de las mismas.

Los hornos poseen analizadores de gases en línea para el control del proceso. Además el horno cuenta con sensores de temperatura y presión, ubicados estratégicamente en posiciones que permiten el total control del proceso y al igual que los sensores de gases, la posibilidad de tomar acciones correctivas inmediatas en caso que la operación se desvíe de su condición de estabilidad o normalidad.

## **2.6. Alcance del Programa de Pruebas.**

Hasta Febrero del 2011 los dos hornos cementeros de UNACEM Ecuador funcionaron solamente con combustible líquido tradicional (HFO), a partir de esta fecha se ha venido utilizando un mix de combustibles que empezó primero con carbón y pet coke. Posteriormente la biomasa fue implementada en forma de PKS y aserrín.

Como política interna y requerimiento legal, en Febrero del 2013, UNACEM Ecuador realiza mediciones trimestrales de la cantidad y tipo de emisiones y cuyos datos sirvieron para establecer una línea base de emisión para la obtención de la Licencia Ambiental necesaria para el coprocesamiento de desechos peligrosos como combustible alternativo en la planta industrial, mediante la realización de los protocolo de pruebas (Trial Burn).

La línea base serán los resultados de las emisiones con combustible fósil. Se determinó el nivel de emisiones asociados al proceso de cemento con el uso de combustible tradicional y luego se compararán con los resultados de las emisiones con el uso de combustibles alternativos.

Posteriormente se compararán ambas mediciones para verificar que el coprocesamiento de (AFR) no generará un impacto significativo en términos de emisiones.

La tabla No. 20 proporciona un resumen de la matriz del programa de análisis realizados por el Laboratorio autorizado. Los mismos se realizaron de acuerdo con la US EPA Reference Test Methods, que se encuentran en el Código de Regulaciones Federales (40 CFR Parte 60, Apéndice A) EE.UU.

Tabla 20: Matriz de Análisis de Laboratorio.

<b>Matriz de análisis de laboratorio para los hornos 1 y 2.</b>		
<b>Análisis</b>	<b>Método</b>	<b>Técnica de Medición</b>
Velocidad	Método 2	Tubo de Pitot, Manómetro diferencial Inclinado
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	Método 3A	Paramagnético
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	Método 3A	Infrarrojo no dispersivo (NDIR)
Humedad del Gas	Método 4	Gravimétrico
Material particulado	Método 5	Gravimétrico
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	Método 7E	Ultravioleta no dispersivo (NDUV)
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	Método 10	Ultravioleta no dispersivo (NDUV)
Monóxido de carbono (CO)	Método 6C	NDIR
Benceno	Método 18 / NIOSH 1501	Cromatografía de gases
Dioxinas y Furanos	Método 23	Dioxinas y Furanos
VOCs (THC)	Método 25A	Detección por ionización de llama
Cloruro de hidrógeno (HCl)	Método 26A	Cromatografía iónica
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	Método 29	Cromatografía iónica
Metales (Sb, As, Ni, Mn, Pb, Cr, V, Co, Cu, Cd, Tl, Hg, Zn, Se y Sn)	Método 28	Espectrometría de absorción atómica o equivalente (ICP)

Fuente: Norma Técnica N° 048 del Ministerio de Ambiente del Ecuador, Norma Técnica para el Coprocesamiento de Desechos Peligrosos en Hornos cementeros.

Elaborado: EL AUTOR.

### **2.6.1. Muestreo y procedimientos analíticos.**

El Laboratorio encargado de los monitoreos ha adjuntado la respectiva memoria explicativa de cálculo de transformación de unidades, los certificados de Acreditación del OAE, los certificados de calibración de sus equipos, cadenas de custodia.

Se ha cumplido con la normativa en lo referente a métodos y equipos de medición de emisiones desde fuentes fijas de combustión, se han establecido los puntos de muestreo acorde al diámetro de las chimeneas, cumpliendo con lo establecido en la tabla 5 del Anexo 3 del Libro VI del TULA y los equipos y estándares de monitoreo para son los estipulados en los Artículos: 4.2.2.18, 4.2.2.19, 4.2.2.20, 4.2.2.21 y 4.2.2.22 para emisiones de dióxido de

azufre y de óxidos de nitrógeno. Los monitoreos han sido realizados con la metodología estipulada en la normativa TULSMA.

Para la determinación de partículas se cumple lo establecido en Artículo 4.2.2.16, aplicando la norma US EPA 5, tal como consta en el Registro Oficial correspondiente y en Anexo 3 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente.

### **2.6.2. Puntos donde se realiza el monitoreo de emisiones.**

UNACEM Ecuador S.A dispone en las chimeneas de salida de emisiones gaseosas de sus hornos rotatorios de clínker, de los puertos de muestreo y puntos de medición, los cuales cumplen con lo estipulado en el Art. 4.2.2.3 Anexo 3 del libro VI del TULAS. Y además se ha instalado sensores de monitoreos de partículas (opacímetros) en las chimeneas de salida de sus hornos.



Figura 9: Puertos para monitoreo y sensores de controladores de emisiones gaseosas en chimeneas de los hornos.

Fuente UNACEM Ecuador.  
Fotografía del AUTOR.

## **2.7. Muestra.**

### **2.7.1. Material Particulado, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.**

Para verificar la cantidad de Material particulado y emisiones gaseosas de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> emitidos hacia la atmósfera y poder relacionarlos con el porcentaje de sustitución de los combustibles tradicionales con el aceite automotriz, se recogieron datos diarios de productividad y cantidad de combustibles usados en la elaboración de clínker durante el 2015 tanto del Horno 1 como del Horno 2. La Regulación ambiental pide que el promedio hora, diario y anual de estos parámetros no excedan un límite preestablecido.

Los análisis de Laboratorio semestrales son obligatorios para verificar el cumplimiento de la norma y además para calibrar los analizadores de gases montados en línea y los opacímetros de cada una de las chimeneas. A pesar de la regulación ambiental estipula que se haga en forma semestral, UNACEM Ecuador considera necesario hacerlo en forma trimestral.

### **2.7.2. Amoniaco, Benceno, Suma de Metales, Cadmio, Talio, Mercurio, Dioxinas y Furanos.**

Para cumplir con la norma ambiental se debe realizar al menos una vez al año los análisis que permitan determinar la cantidad de este tipo de emisiones gaseosas sin exceder los límites máximos establecidos. El Laboratorio escogido debe ser habilitado por la OAE (Organismo de Acreditación Ecuatoriano).

### **2.7.3. Compuestos Orgánicos Volátiles.**

Los VOC's tiene un tratamiento diferente a los parámetros anteriores porque deben ser monitoreados continuamente y al menos una vez al año deben ser analizados por un Laboratorio acreditado. Los valores no deben exceder al límite establecido.

Para cada uno de los parámetros a analizar se siguió el procedimiento de recogida y recuperación de la muestra de acuerdo al método respectivo.

## **2.8. Volúmenes a Coprocesar.**

La capacidad de almacenamiento máximo temporal para coprocesamiento de aceite usado será de 30.000 gls/día. La cantidad esperada máxima de entrega mensual será 900.000 gls.

En la actualidad no existe oferta del aceite usado que permita operar por periodos prolongados con los niveles de sustitución más altos que los indicados, el límite máximo de 30% se justifica para absorber la necesidad de disponer de grandes cantidades de aceite usado que puedan generarse puntualmente o que sean parte del pasivo ambiental del país, y como forma de establecer un nivel de sustitución autorizado sostenible con el tiempo.

## **2.9. Comprobación de la Hipótesis.**

En base al estudio realizado para el período de 2015 se determinó que el total de emisiones gaseosas generadas en las operaciones de valorización energética en coprocesamiento de aceites automotrices usados no excedieron los límites establecidos en la Norma Ambiental que regula las actividades de coprocesamiento de residuos peligrosos en hornos cementeros, con lo cual se comprueba que la hipótesis (Hi) es la correcta.

## **CAPÍTULO 3**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Proyecto de Coprocesamiento de aceites usados en UNACEM Ecuador S.A.**

El coprocesamiento de desechos en hornos de cemento adecuadamente regulados proporciona energía y permite la recuperación de materiales mientras se produce el cemento, de manera que supone una opción de recuperación ambientalmente racional de muchos desechos peligrosos. Los países se esfuerzan por conseguir una mayor autosuficiencia en la gestión de los desechos peligrosos, especialmente los países en desarrollo, que posiblemente cuenten con poca o ninguna infraestructura de gestión de desechos, de modo que el coprocesamiento adecuadamente normado puede suponer una opción práctica, rentable y ambientalmente preferible a los vertederos y la incineración. En general, el coprocesamiento de los desechos en procesos intensivos en recursos naturales puede ser un elemento importante dentro de un sistema más sostenible de gestión de las materias primas y la energía.

El coprocesamiento es el uso de combustibles y materias primas alternativos con el objetivo de recuperar energía y recursos; es diferente de la co-incineración, la producción de materiales mediante el uso de desechos como combustibles o las plantas en las que los desechos son tratados térmicamente para su eliminación. El empleo de combustibles alternativos AFR es una práctica asentada en la mayoría de países desarrollados desde hace más de veinte años.

#### **3.1.1. Criterios para la implementación.**

Los criterios para la implementación del proyecto de uso de residuos de aceites automotrices como combustible alternativo para la producción de energía calórica para la producción de clínker que es el principal constituyente del cemento, son los siguientes:

##### **3.1.1.1. Criterio Económico (50%).**

Reducción de costos de Producción. Específicamente del precio del combustible fósil que es el insumo principal para la generación de energía calórica necesaria para la producción de Clinker.

### **3.1.1.2. Criterio Ambiental (30%).**

Reducción de la carga contaminante del entorno. Sustituir combustibles fuel oil por aceite usado proveniente de las actividades industriales, fuentes livianas y pesadas, dando una disposición ambiental adecuada y controlada a este residuo.

### **3.1.1.3. Criterio Comercial (10%).**

Comercialmente no tiene relevancia una mejora en el combustible utilizado, la mezcla de combustibles a utilizarse mantiene su calidad.

### **3.1.1.4. Criterio Técnico (10%).**

Se mejoran ciertas características físicas y químicas del combustible utilizado en la producción de Clinker tales como:

- Viscosidad,
- Menor contenido Azufre,
- Mejor densidad API,
- Menor cantidad Asfaltenos,

Utilización de las instalaciones industriales ya existentes.

## **3.1.2. Etapas del proceso de coprocesamiento de “aceites usados” en los hornos de UNACEM Ecuador S.A.**

La transformación del aceite usado a energético, requiere la aplicación de un tratamiento tendiente a adecuar las condiciones del aceite a las características requeridas para el proceso de combustión. Consiste básicamente en la aplicación de sistemas de filtrado con el fin de lograr un combustible libre de contaminantes, retirando las partículas gruesas y removiendo las partículas finas mediante procesos de sedimentación y centrifugación.

Luego de realizadas las operaciones de separación y filtrado, se origina un desecho o lodo con alto contenido en metales pesados, el cual debe ser dispuesto de tal forma que asegure que estos metales no serán absorbidos por los seres vivos. En UNACEM Ecuador estos

lodos son dosificados en el patio de arcilla a razón de 100 galones por 4000 toneladas que se consumen en la semana.

A continuación se describe el proceso de recepción, transporte y combustión de los aceites usados dentro de la planta Industrial de UNACEM Ecuador.

La gestión de los “aceites usados” como combustible alternativo para los hornos cementeros, en la Planta Industrial se estructura en siete etapas:

#### **3.1.2.1. Recepción.**

Cada cargamento de aceite usado que ingresa en los patios de la planta industrial de UNACEM Ecuador S.A, es sometido a un control e inspección, que incluye el pesaje y la observación visual. En esta fase se toman las precauciones necesarias para asegurar que el residuo es efectivamente uno de los autorizados para ser utilizados en la fábrica, y que no ha sido manipulado o contaminado con residuos no autorizados.

El Operador de la Báscula solicita al transportista de los aceites usados, el manifiesto único para autorizar el ingreso de los desechos peligrosos a las instalaciones de la planta industrial. Este documento debe estar firmado y sellado por el generador, el transportista y el receptor.

Después de la verificación correspondiente y el pesaje del vehículo se procede a movilizarse hacia la zona de descarga de combustibles.

#### **3.1.2.2. Descarga.**

Los residuos peligrosos a utilizarse como combustibles alternativos (Aceites usados, solventes, grasas, etc.) serán descargados desde los tanqueros, a los tanques de almacenamiento en forma directa para su almacenamiento temporal en una “piscina de recuperación” de 20.000 galones de capacidad (capacidad que supone varios días de utilización y cuyo fin es regular adecuadamente el flujo de residuos a cualquiera de los hornos desde los tanques de almacenamiento).

La descarga del aceite usado del tanquero se da por medio de una tubería de 3”, y se deberá realizar usando los pedestales instalados para el efecto. El transportista procurará dejar la manguera sin curvas que impidan el flujo normal del aceite.

Junto a los tanques de almacenamiento, se ubica la playa de descarga de combustibles, cuyo piso es de hormigón armado proporcionándole al área de la impermeabilización necesaria para proteger el suelo de potenciales derrames durante las operaciones.

Además, cuenta con las medidas de seguridad como: sistema a tierra, señalética y rotulación de seguridad, peligro y advertencias, sistemas de extinción de incendios, kits de derrames.

### **3.1.2.3. Filtrado.**

Es un sistema compuesto de varios equipos cuyo fin es retirar del combustible los elementos sólidos (fibras textiles y lodos) que pueden causar daños y desgaste en los elementos mecánicos de las bombas de transporte. Este subproceso está dividido en dos etapas:

#### **3.1.2.3.1. Primera Etapa de Filtrado.**

En esta parte del proceso se dispone de un filtro Dúplex por lo que el encargado de la recepción de combustibles deberá escoger la unidad de filtrado que desea utilizar. Para ello deberá posicionar las válvulas adecuadas pudiendo trabajar con uno de los filtros indistintamente o puede ocupar los dos a la vez.

El sistema se ha diseñado para que se utilice uno y el otro quede en reserva. Es importante tener siempre los filtros limpios para que la descarga sea rápida.

Se cuenta con una bomba *Viking* que es capaz de bombear 200 GPM y maneja una presión de 200 PSI. El Equipo dispone de un motor-reductor SEW de 18,5 Kw.

#### **3.1.2.3.2. Segunda Etapa de Filtrado.**

La segunda etapa de filtrado se realiza en una unidad Duplex que tiene un filtro de 200 micras. Igual que en la etapa anterior, se puede trabajar con cualquiera de los dos filtros indistintamente.

### **3.1.2.4. Almacenamiento.**

De acuerdo a las necesidades del proceso, el aceite descargado puede ser direccionado hacia:

- La piscina de recuperación
- Los tanques de almacenamiento de 500.000 galones de capacidad cada uno.

Para ello se deberá posicionar las válvulas respectivas.

La piscina de recuperación o de condensado está diseñada para permitir la separación del agua y el aceite por medio de decantación. El aceite se recupera utilizando una bomba de succión SEEPEx de 167 GPM cuya admisión está provista de mallas para la retención de sólidos contenidos en los combustibles y es enviado hacia los tanques de almacenamiento.

El agua se evacúa por sobrellenado hasta tanques de recirculación del agua de proceso.

La necesidad de mantener un stock mínimo de aceite usado como combustible, que garantice la operación continua de la planta industrial, determina la obligación de contar con una etapa intermedia entre la recepción del combustible y su combustión. UNACEM Ecuador dispone de dos tanques de almacenamiento para combustible líquido de 500.000 galones cada uno; el aceite usado es recibido en cualquiera de los dos tanques dependiendo del nivel de los mismos.

Los aceites usados comparten los mismos tanques de almacenamiento con el crudo residual por lo tanto reciben el mismo tratamiento, esto es, calentamiento previo por vapor, separación de agua por medio de purgas al sistema y sedimentación de impurezas en el fondo de los tanques

Los combustibles (aceite usado y crudo residual) contenidos en los tanques de almacenamiento, mediante transferencia de calor se mantienen a una temperatura entre 40 y 60 °C por medio de intercambiadores de vapor instalados en la base de los tanques.

Para el horno 1, los combustibles pasan a un tanque diario de 20.000 galones y en el caso del horno 2 se extraen directamente de cualquiera de los tanques de almacenamiento.

En la Planta Industrial, cada uno de los tanques de combustibles cuenta con sus respectivos diques de contención. El área cuenta con la debida señalización, carteles de seguridad industrial, los respectivos extintores contra incendio kits de derrame estratégicamente ubicados.

Entre los accesorios con los que cuentan los tanques de almacenamiento tenemos, un visor de nivel, entrada de hombre, tubo de ventilación, válvula para drenaje, boquillas para entrada y salida del producto, y escalera de acceso.

Antes de entrar a los hornos, la temperatura del combustible debe ser incrementada a 120 °C, para que pueda cumplir con las exigencias de flujo, presión y temperatura atendiendo las condiciones de diseño y características operativas del propio quemador en cada uno de los hornos y así poder garantizar una adecuada atomización y por consiguiente, una quema total.

### **3.1.2.5. Preparación.**

En los tanques de almacenamiento el aceite usado es previamente mezclado con el combustible líquido tradicional para su inyección mediante bombas mecánicas en tuberías con intercambiadores de calor a vapor para poder disminuir la viscosidad del combustible y optimizar el uso del sistema de bombeo.

El combustible contenido en los tanques de almacenamiento debe llegar al sistema del quemador en las condiciones de flujo de 110 litros por minuto para el horno 1 y de 120 litros por minuto para el horno 2 y a una presión de 35 bares. El combustible usado tiene un 80% de residuo de petróleo y un 20% de aceite usado.

Para cumplir con los requerimientos de diseño y características propias de cada uno de los quemadores instalados en los dos hornos, la mezcla de combustibles debe pasar por tres etapas:

- El aceite usado y el residuo industrial fluyen de los tanques de almacenaje a una temperatura de entre 40 °C a 60 °C mediante el funcionamiento de una bomba o varias, hacia el tanque diario (Línea 1) o hacia las bombas de alta presión. (Línea 2).
- Desde estos lugares, la mezcla residuo industrial - aceite usado es bombeada hacia el tren de válvulas de cada uno de los quemadores, incrementándose la temperatura al pasar a través de los intercambiadores de calor instalados para el efecto.
- Finalmente la mezcla de combustibles líquidos ingresan al quemador de cada horno donde se combustiona completamente formando una llama, que dependiendo del tipo de quemador y las condiciones requeridas, puede tener un largo de entre 10 y 15 metros.

La temperatura y presión adecuadas garantizarán una buena atomización, una combustión completa y una forma adecuada de la llama.

#### **3.1.2.6. Coprocesamiento.**

La combustión como operación en los hornos rotatorios de clínker de cemento, debido a los altos requerimientos energéticos, exige movilizar importantes cantidades de combustible a presiones altas de trabajo.

Los gases resultantes producto de la combustión del crudo residual y aceite usado tienen la siguiente composición: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y O<sub>2</sub>.

El aceite usado es empleado como combustible por su elevada capacidad calorífica, contiene concentraciones de metales pesados, sulfuros, fósforo y el total de halógenos son un poco más altos que en el crudo residual.

Desde el almacenamiento, los residuos son transportados hasta el punto de entrada al horno. El quemador principal que constituye el extremo más caliente del horno y son inyectados a presión en tuberías mediante bombas mecánicas. Los quemadores están diseñados específicamente para que la combustión se realice en las condiciones de temperatura, turbulencia y exceso de oxígeno más favorables. La alimentación en el quemador principal asegura la completa combustión debido a la alta temperatura y el alto tiempo de retención.

El combustible introducido a través del quemador principal produce la llama principal con unas temperaturas de flama de alrededor de 2.000 °C. Por razones de optimización del proceso, la llama tiene que ser ajustada dentro de ciertos límites. En los quemadores de los hornos de UNACEM Ecuador, el tamaño de la llama se ajusta mediante la regulación de los aires primario (10-12 % del total del aire de combustión) y secundario.

Los combustibles líquidos, a viscosidad y presión adecuadas, se inyectan a través de una boquilla de atomización en el horno. La configuración de la llama se regula mediante el aire primario, que se introduce por multicanales situados alrededor de la boquilla inyectora, que ocupa una posición central.

El tipo de almacenamiento y los sistemas de carga y descarga están diseñados de forma que se garantiza la seguridad, incluyendo sistemas de protección contra incendios y medios de protección contra vertidos al suelo y agua de los residuos, todos los tanques están provistos de sus respectivos cubetos de contención con el 110% de la capacidad máxima contenida en dichos tanques y cuentan con pararrayos para protección de descargas eléctricas atmosféricas y conexiones a tierra. Los cubetos de los tanques están conectados a las cunetas periféricas, que transportan las aguas aceitosas de toda la planta a las piscinas de decantación y separación de los aceites y combustibles para su tratamiento posterior. Las escalerillas para trabajos de operación y mantenimiento sobre los tanques cuentan con la debida protección para el ascenso y descenso del personal. En esta área, se han ubicado hidrantes y extintores tipo carrete, así como el equipo necesario para combatir cualquier conato de incendio que pueda producirse. Estas instalaciones y demás equipamiento, están correctamente montados, aterrados y señalizados, lo que garantiza una mayor seguridad para las instalaciones y personal que labora en la planta. Para la seguridad del personal que realiza actividades sobre los tanqueros que transportan el combustible, se ha montado una “línea de vida”.

#### **3.1.2.7. Control del Proceso.**

En las instalaciones industriales de UNACEM Ecuador en Otavalo, la medición de emisiones a la atmósfera se realiza tanto para verificar el cumplimiento de la normativa ambiental correspondiente como para determinar las alteraciones que se puedan producir en los procesos de combustión, especialmente los relacionados con la clinkerización en los hornos cementeros.

La inyección a los hornos se debe realizar únicamente cuando las condiciones de combustión y el funcionamiento de los filtros garanticen la destrucción de los compuestos orgánicos presentes en el residuo y el cumplimiento de los límites de emisión a la atmósfera.

Conforme lo establece la Norma Ecuatoriana de Coprocesamiento, se controlará de forma continua con equipos automáticos tanto las condiciones de la llama (temperatura y contenido de oxígeno), como las emisiones a la atmósfera de los contaminantes establecidos legalmente y que incluyen:

- las partículas,
- óxidos de azufre,

- óxidos de nitrógeno
- compuestos orgánicos VOCs,

Además se realizará mediciones anuales de:

- Cloruro y fluoruro de hidrógeno (HCl y HF)
- Carbono Orgánico Total (COT)
- Dioxinas y furanos (PCDD/Fs)
- Metales pesados
- NH<sub>3</sub>

Los hornos de cemento de UNACEM Ecuador, disponen de sistemas de corte de la alimentación de combustibles cuando cualquiera de los parámetros de control de proceso incumple las exigencias establecidas en los permisos de operación. Se garantiza de esta manera que los residuos son tratados de forma segura y eficaz.

Los límites de emisiones a la atmósfera para la industria del cemento están en general expresados como medias diarias, y normalmente calculadas a partir de valores registrados cada hora y son aplicables solamente en condiciones estables de operación de las instalaciones.

### **3.1.3. Condiciones de aceptación del aceite usado.**

El empleo eficiente del aceite usado como combustible para los hornos cementeros, exige como punto de partida, que se conozcan las características del residuo y los rangos de variación en sus características físicas y químicas.

El aceite usado debe cumplir con una serie de requisitos para poder ser quemado, lo que implica que se realicen una serie de análisis para verificar que cumpla con las especificaciones acordadas, de lo contrario se deben realizar operaciones de acondicionamiento.

En UNACEM Ecuador (2015) Dentro de los parámetros relevantes de aceptación se destacan:

- Poder calorífico superior.
- Humedad.

- Presencia de policlorobifenilos (PCB) o bifenilos policlorados.
- Contenido de agua y de sedimentos (BS&W). UNACEM Ecuador. (2015)

El porcentaje de agua presente en el aceite es de mucha importancia debido a que el proceso de cocción del crudo dentro de los hornos y precalentador es muy delicado en cuanto a la variación del combustible quemado. La energía térmica entregada por los combustibles se controla con mucha rigurosidad para evitar enfriamientos del horno o producir clínker de baja calidad.

Se puede retirar hasta un 8 -10% de agua en los tanques de almacenamiento de 500.000 galones dejando reposar el combustible para posteriormente purgar el agua a través de tuberías instaladas en la base de los tanques y que desembocan en una piscina de recuperación. Desde aquí el agua es direccionada hacia las piscinas de decantación y procesamiento donde se recuperan las últimas trazas de combustible todavía existentes y se purifica el agua con la ayuda de lechuguines.

En nuestras ciudades, una de las fuentes que generan contaminación de origen antropogénico, son los hidrocarburos: lubricantes y combustibles, los cuales forman parte fundamental del desarrollo en la industria y movilización y junto a la falta de concientización existente en la población sobre la responsabilidad que supone el adecuado uso y disposición de ellos, han provocado daños irreversibles en nuestro ambiente. Es por esto que varios gobiernos municipales del país tienen implementados sistemas de recolección de aceite usado procedente de estaciones de servicio y lubricadoras, con la finalidad de disminuir la contaminación del suelo, aire y del agua.

Los propietarios, representantes, gerentes, entre otros, de los locales generadores de aceite mineral usado, como prerrequisito para su funcionamiento, deben suscribir una carta de compromiso, en donde se obligan a entregar todo el aceite generado por sus diversas actividades, almacenar el mismo en condiciones adecuadas y renovar este compromiso cada año.

Para que el residuo pueda ser aceptado en las instalaciones de la planta industrial de UNACEM Ecuador debe cumplir con la caracterización mencionada en el contrato de compra.

#### **3.1.4. Acopiadores y proveedores de aceite usado.**

- Biofactor,
- Oxivida,
- PECS (Petro Ecological Cleaning System),
- Product S.A,
- Retransoil,
- Serviresiduos S.A.

#### **3.1.5. Impactos Ambientales.**

Las actividades de coprocesamiento de desechos peligrosos AFRS, podrán tener incidencia en ciertos factores ambientales, por lo que es necesario identificar, caracterizar y evaluar los posibles impactos ambientales positivos y negativos, que puedan presentarse en el área de influencia directa e indirecta de la Planta Industrial de UNACEM Ecuador.

Lo anterior implica que se tenga que cumplirse una serie de etapas constituidas por:

- Identificación de impactos potenciales,
- Calificación y valoración de impactos ambientales, y
- Descripción de los impactos ambientales, poniendo especial énfasis en los componentes susceptibles de resultar mayormente afectados y destacando los impactos más relevantes, considerando de manera particular y especial los aspectos humanos.

Para lograr este objetivo, se ha preparado listas de chequeo que contemplan actividades a ejecutarse y los elementos ambientales susceptibles de ser afectados.

##### ***3.1.5.1. Identificación de impactos ambientales.***

En esta etapa se deben cumplir tres actividades:

###### ***3.1.5.1.1. Definición de las fases, obras y actividades del Proyecto.***

En vista de que no es necesaria la implementación de nueva infraestructura para el Proyecto de Coprocesamiento, se analiza directamente y únicamente la etapa de operación del proyecto, tampoco se analizará la fase de retiro porque esta involucra a la planta industrial

(las actividades de coprocesamiento se ejecutarán durante la vida útil de la planta). Con esta explicación a continuación se listan las actividades del proyecto en su etapa operativa y los factores ambientales susceptibles de ser afectados:

- a. Recepción de AFRs
- b. Almacenamiento de AFRs
- c. Filtrado de aceites usados (Acondicionamiento)
- d. Alimentación de AFRs al Horno
- e. Coprocesamiento de AFRs mediante incineración en los Hornos de Clínker
- f. Tratamiento de aguas aceitosas producto del filtrado
- g. Mantenimiento del sistema

*3.1.5.1.2. Selección de los factores ambientales potencialmente afectados.*

La ejecución del proyecto podrá tener incidencia en ciertos factores ambientales, como los que se exponen a continuación:

Tabla 21: Factores Ambientales que podrían ser afectados.

Medio	Factor Ambiental	Sub Factor
Físico	Aire	Emisiones de Dioxinas y Furanos
		Emisiones de COV's
		Emisiones de metales pesados volátiles
		Impactos a la calidad
	Agua	Impactos a la calidad
	Suelo	Impactos a la calidad
Social	Calidad de vida - Economía y Desarrollo	Contribución a eliminar el pasivo ambiental que representan los aceites usados
		Ahorro al país en consumo de combustible fósil
Laboral	Salud y Seguridad Laboral	Accidentes de trabajo
		Enfermedades ocupacionales

Elaborado: EL AUTOR.

**3.1.6. Calificación y Evaluación de Impactos Ambientales.**

Para el procedimiento sistemático de la evaluación cuantitativa de los impactos ambientales de mayor significancia, se utilizó una matriz multidimensional, la misma que ha sido

construida tomando como referencia las matrices desarrolladas por Phillip y Defillini (1976), Leopold (1970) y otras referencias (Calvopiña, 1993).

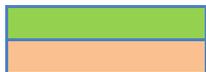
Se ha seleccionado la matriz multidimensional debido a que en esencia, retoma las mismas actividades y factores ambientales desarrollados en la matriz de identificación de impactos ambientales; permite además, la entrada de la información en sub - filas y sub - columnas en un arreglo multidimensional, y la incorporación de la evaluación cuantitativa del impacto en importancia y magnitud.

#### ***3.1.6.1. Interacción de las actividades del proyecto con los factores ambientales.***

Una vez definidas las actividades y ordenados los componentes ambientales, se procede a elaborar una matriz de interacciones ambientales, colocando en las ordenadas los componentes ambientales y en las abscisas las actividades del proyecto, marcando con color verde los impactos perjudiciales y con color naranja los impactos positivos, en cada interacción identificada en la matriz. *Ver en la siguiente página Matriz de interacción Causa-Efecto-*

Tabla 22: Matriz de interacción causa efecto.

MEDIO	FACTOR AMBIENTAL	SUB FACTOR	ACTIVIDADES						
			Recepción de AFR's	Almacenamiento de AFR's	Filtrado de aceites usados	Alimentación de AFR's al horno	Coprocesamiento (Valorización)	Tratamiento de aguas aceitosas	Mantenimiento del sistema
Físico	Aire	Emisiones de Dioxinas y Furanos							
		Emisiones de COV's							
		Emisiones de metales pesados volátiles							
		Impactos a la calidad							
	Agua	Impactos a la calidad							
	Suelo	Impactos a la calidad							
Social	Calidad de vida - Economía y Desarrollo	Eliminación del pasivo ambiental							
		Ahorro en consumo de combustible fósil							
Laboral	Salud y Seguridad Laboral	Accidentes de trabajo							
		Enfermedades ocupacionales							



Impacto negativo  
Impacto positivo

Elaborado por el Autor.

### **3.1.6.2. Valoración de los Impactos Ambientales.**

La evaluación y calificación de los impactos mediante su valoración cualitativa, nos permitirá conocer cuáles serán los impactos más relevantes y significativos a presentarse, de acuerdo a su grado de magnitud e importancia.

Esta valoración se realizó empleando una matriz adaptada de la Matriz original de Leopold (1970), de doble entrada, en la que se colocó por un lado los componentes ambientales susceptibles de ser afectados y por otro lado, la actividad identificada como potencial alteradora del medio, tanto para los impactos del sistema al ambiente, como los impactos del ambiente al sistema.

Al relacionar las columnas con las filas de la matriz, se procedió a calificar el grado de magnitud e importancia del impacto identificado, tanto a nivel del componente afectado como de la actividad generadora, obtenido mediante la evaluación de los siguientes parámetros o variables:

#### *3.1.6.2.1. Variables de calificación.*

##### *a. Carácter genérico del impacto.*

Se presenta como un juicio de valor para definir si el impacto es positivo o benéfico (+) y negativo o dañino (-), de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.

En el presente estudio se hace referencia únicamente al carácter negativo, porque no se trata de un proyecto de inversión sino más bien de una actividad productiva de carácter social, en la cual las condiciones económicas de la población no permite aplicar una metodología que tome en cuenta el impacto positivo como es el caso del costo (ambiental) – beneficio (económico).

##### *b. Magnitud de un impacto (M).*

La magnitud de una interacción es su extensión o escala, y se describe mediante la asignación de un valor numérico que hace referencia a su cantidad física; es decir al tamaño

del impacto. En consecuencia, se considera que la Magnitud está relacionada directamente con las variables: Intensidad (i), Extensión (e) y Duración (d).

*c. Intensidad (i).*

Es el grado con el que un impacto altera a un determinado elemento del ambiente, por lo tanto está en relación con la fragilidad y sensibilidad de dicho elemento.

La intensidad puede ser: Alta, Moderada y Baja.

*d. Extensión (e).*

Determina el área geográfica de influencia teórica que será afectada por un impacto en relación con el entorno del proyecto (porcentaje del área, respecto al entorno en que se manifiesta el efecto); en el presente caso se consideran:

- Regional: Región geográfica del proyecto
- Local: Aproximadamente tres kilómetros a partir de la zona donde se realizarán las actividades del proyecto.
- Puntual: En el sitio en el cual se realizarán las actividades y su área de influencia directa.

Nota: En el caso de que el efecto sea puntual, pero que se produzca en un lugar crítico (vertido próximo y aguas arriba de una toma de agua, degradación paisajística en una zona muy visitada o cerca de un centro urbano), se le atribuirá un mayor valor al que le correspondería en función del porcentaje de extensión en que se manifiesta.

*e. Duración (d).*

Se refiere al tiempo que supuestamente permanecería el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, o mediante la introducción de medidas correctoras, la duración es independiente de la reversibilidad. La duración puede ser:

- Periódica: Si se presenta en forma intermitente mientras dure la actividad que los provoca.

- Temporal: Si se presenta mientras se ejecuta la actividad y finaliza al terminar la misma.
- Permanente: Si el efecto es continuo, aun cuando se haya finalizado la actividad.

*f. Importancia (I).*

La importancia de un factor está relacionada con lo significativa que ésta sea, o con una evaluación de las consecuencias probables del impacto previsto; es decir, la importancia se refiere a la calidad del impacto y por lo tanto se relaciona con las variables: Reversibilidad (r), Riesgo (g) y Extensión (e). La variable extensión también se evalúa en la Magnitud, dada su afinidad con ambos parámetros.

La importancia del impacto no debe confundirse con la importancia del factor afectado.

*g. Reversibilidad (r).*

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto; es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales o por intervención humana una vez que aquella deja de actuar.

- Reversible: Si el elemento ambiental afectado puede volver a su estado similar al inicial.
- Poco reversible: Señala un estado intermedio.
- Irreversible: Si el elemento ambiental afectado no puede ser recuperado.

*h. Riesgo (g).*

Indica la posibilidad real o potencial de que una determinada actividad produzca un determinado impacto sobre un factor ambiental.

- Alto: Si existe la certeza de que un impacto se produzca y es real.
- Medio: La condición intermedia de duda de que se produzca o no un impacto.
- Bajo: Si no existe la certeza de que un impacto se produzca y por lo tanto es potencial.

En la tabla que se inserta a continuación tenemos los valores asignados para cada variable y que utilizaremos para realizar el análisis cuantitativo.

Tabla 23: Valores asignados a cada variable.

<b>Variables</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Carácter</b>	<b>Valor</b>
Para la Magnitud (M)			
Intensidad	i	Alta	3
		Moderada	2
		Baja	1
Extensión	e	Regional	3
		Local	2
		Puntual	1
Duración	d	Permanente	3
		Temporal	2
		Periódica	1
Para la Importancia (I)			
Reversibilidad	r	Irreversible	3
		Poco Reversible	2
		Reversible	1
Riesgo	g	Alto	3
		Medio	2
		Bajo	1
Extensión	e	Regional	3
		Local	2
		Puntual	1

Elaborado: EL AUTOR.

### **3.1.7. Procedimiento de Análisis.**

#### **3.1.7.1. Calificación de variables para cada interacción identificada.**

Tomando como base la Matriz de interacción causa – efecto, se procedió con la calificación de las variables, el cálculo de la magnitud e importancia, y la evaluación final de los impactos identificados en base a la severidad de los mismos.

La calificación comprendió la asignación de valores a cada impacto, en base a la escala de valores asignados para cada variable. En la calificación de los impactos participó todo el grupo de trabajo que preparó el diagnóstico, los mismos que emitieron su criterio y por consenso se definieron los valores de calificación final.

La asignación del valor del impacto se considera subjetiva, porque se basa en el criterio de los técnicos; sin embargo, ésta subjetividad tiende a disminuir al utilizarse parámetros y valores de calificación, como se indica en la metodología.

### **3.1.7.2. Cálculo de la magnitud (M) e importancia (I) de los impactos.**

La Magnitud (M) en términos numéricos, constituye la valoración del efecto de la acción; por lo que su cálculo se basa en la sumatoria acumulada de los valores de las variables intensidad, extensión y duración.

Para el cálculo de la magnitud, se asumen los siguientes valores de peso:

- Peso del criterio de intensidad = 0,40
- Peso del criterio de extensión = 0,40
- Peso del criterio de duración = 0,20

La fórmula para calcular la magnitud para cada una de las interacciones ambientales encontradas en la evaluación, es la siguiente:

$$M = (i*0,40) + (e*0,40) + (d*0,20)$$

La Importancia (I) está dada en función de las características del impacto, razón por la cual su valor puede deducirse de la sumatoria acumulada de la extensión, reversibilidad y riesgo.

Para el cálculo de la importancia, se asumen los siguientes valores de peso:

- Peso del criterio de extensión = 0,35
- Peso del criterio de reversibilidad = 0,40
- Peso del criterio de riesgo = 0,25

La fórmula para calcular la importancia para cada una de las interacciones ambientales encontradas en la evaluación, es la siguiente:

$$I = (r*0,40) + (g*0,35) + (e*0,25)$$

La magnitud e importancia máximas esperadas del impacto, se definieron como valores teóricos, porque se generan al crear la escala valorativa de calificación, en este caso de 1, 2 y 3 respectivamente, donde 3 es el valor máximo esperado y marca el límite de mayor impacto negativo que se podría esperar.

Para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos, se procedió a asignar un equivalente al valor calculado del impacto, tanto para la magnitud como para la importancia:

Tabla 24: Valoración del impacto.

Escala de valores estimados	Valoración del impacto
1.0 - 1.6	Bajo
1.7 - 2.3	Moderado
2.4 - 3.0	Alto

Elaborado: EL AUTOR.

### **3.1.7.3. Cálculo de la severidad (S) de los impactos.**

La Severidad (S) se define como el nivel de impacto ocasionado sobre el componente ambiental. El valor se obtiene al multiplicar la magnitud por la importancia.

$$S = M \times I$$

El resultado se lo compara con la escala de valores asignado para el efecto, la misma que servirá para categorizar los impactos:

Tabla 25: Severidad de los impactos.

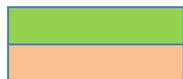
Escala de valores estimados	Severidad del impacto
1.0 - 1.6	Compatible
2.1 - 3.6	Moderado
3.7 - 5.3	Severo
5.4 - 9.0	Crítico

Elaborado: EL AUTOR.

En virtud de la metodología empleada, un impacto ambiental podrá alcanzar una severidad máxima de 9 y mínima de 1. Cuando tengan valores de 9 son impactos de elevada incidencia en el medio, sean de carácter positivo o negativo, y si están entre 1 y 2 serán impactos intrascendentes y de poca influencia en el entorno.

Tabla 26: Matriz de Intensidad de Impactos.

MEDIO	FACTOR AMBIENTAL	SUB FACTOR	ACTIVIDADES DEL PROYECTO						
			Recepción de AFR's	Almacenamiento de AFR's	Filtrado de aceites usados	Alimentación de AFR's al horno	Coprocesamiento (Valorización)	Tratamiento de aguas aceitosas	Mantenimiento del sistema
Físico	Aire	Emisiones de Dioxinas y Furanos					1		
		Emisiones de COV's					1		
		Emisiones de metales pesados volátiles					1		
		Impactos a la calidad					1		
	Agua	Impactos a la calidad	1		1			1	1
Suelo	Impactos a la calidad	1					1		
Social	Calidad de vida - Economía y Desarrollo	Eliminación del pasivo ambiental					3		
		Ahorro en consumo de combustible fósil					3		
Laboral	Salud y Seguridad Laboral	Accidentes de trabajo	1				1		1
		Enfermedades ocupacionales					1		

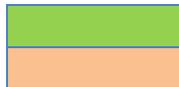


Impacto negativo  
Impacto positivo

Elaborado por EL AUTOR.

Tabla 27: Matriz de extensión de impactos.

MEDIO	FACTOR AMBIENTAL	SUB FACTOR	ACTIVIDADES DEL PROYECTO						
			Recepción de AFR's	Almacenamiento de AFR's	Filtrado de aceites usados	Alimentación de AFR's al horno	Coprocesamiento (Valorización)	Tratamiento de aguas aceitosas	Mantenimiento del sistema
Físico	Aire	Emisiones de Dioxinas y Furanos					2		
		Emisiones de COV's					2		
		Emisiones de metales pesados volátiles					2		
		Impactos a la calidad					2		
	Agua	Impactos a la calidad	1		1			1	1
Suelo	Impactos a la calidad	1					1		
Social	Calidad de vida - Economía y Desarrollo	Eliminación del pasivo ambiental					3		
		Ahorro en consumo de combustible fósil					3		
Laboral	Salud y Seguridad Laboral	Accidentes de trabajo	1				1		1
		Enfermedades ocupacionales					1		



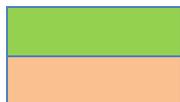
Impacto negativo

Impacto positivo

Elaborado por EL AUTOR.

Tabla 28: Matriz de duración de impactos.

MEDIO	FACTOR AMBIENTAL	SUB FACTOR	ACTIVIDADES DEL PROYECTO						
			Recepción de AFR's	Almacenamiento de AFR's	Filtrado de aceites usados	Alimentación de AFR's al horno	Coprocesamiento (Valorización)	Tratamiento de aguas aceitosas	Mantenimiento del sistema
Físico	Aire	Emisiones de Dioxinas y Furanos					2		
		Emisiones de COV's					2		
		Emisiones de metales pesados volátiles					2		
		Impactos a la calidad					2		
	Agua	Impactos a la calidad	2		2			2	2
	Suelo	Impactos a la calidad	2					2	
Social	Calidad de vida - Economía y Desarrollo	Eliminación del pasivo ambiental					2		
		Ahorro en consumo de combustible fósil					2		
Laboral	Salud y Seguridad Laboral	Accidentes de trabajo	2				2		2
		Enfermedades ocupacionales					2		



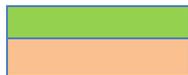
Impacto negativo

Impacto positivo

Elaborado por EL AUTOR.

Tabla 29: Matriz de Reversibilidad de Impactos.

MEDIO	FACTOR AMBIENTAL	SUB FACTOR	ACTIVIDADES DEL PROYECTO						
			Recepción de AFR's	Almacenamiento de AFR's	Filtrado de aceites usados	Alimentación de AFR's al horno	Coprocesamiento (Valorización)	Tratamiento de aguas aceitosas	Mantenimiento del sistema
Físico	Aire	Emisiones de Dioxinas y Furanos					1		
		Emisiones de COV's					1		
		Emisiones de metales pesados volátiles					1		
		Impactos a la calidad					1		
	Agua	Impactos a la calidad	1		1			1	1
Suelo	Impactos a la calidad	1					1		
Social	Calidad de vida - Economía y Desarrollo	Eliminación del pasivo ambiental					1		
		Ahorro en consumo de combustible fósil					1		
Laboral	Salud y Seguridad Laboral	Accidentes de trabajo	1						1
		Enfermedades ocupacionales					1		



Impacto negativo

Elaborado por EL AUTOR.

Tabla 30: Matriz de probabilidad de Impactos.

MEDIO	FACTOR AMBIENTAL	SUB FACTOR	ACTIVIDADES DEL PROYECTO						
			Recepción de AFR's	Almacenamiento de AFR's	Filtrado de aceites usados	Alimentación de AFR's al horno	Coprocesamiento (Valorización)	Tratamiento de aguas aceitosas	Mantenimiento del sistema
Físico	Aire	Emisiones de Dioxinas y Furanos					1		
		Emisiones de COV's					1		
		Emisiones de metales pesados volátiles					1		
		Impactos a la calidad					1		
	Agua	Impactos a la calidad	1		1			1	1
	Suelo	Impactos a la calidad	1					1	
Social	Calidad de vida - Economía y Desarrollo	Eliminación del pasivo ambiental					3		
		Ahorro en consumo de combustible fósil					3		
Laboral	Salud y Seguridad Laboral	Accidentes de trabajo	1						1
		Enfermedades ocupacionales					1		

Escala de Valores estimados					
Bajo	1.0 – 1.6	Moderado	1.7 –2.3	Alto	2.4 –3.0

	Impacto negativo
	Impacto positivo

Elaborado por EL AUTOR.

Tabla 31: Matriz de Magnitud de Impactos.

MEDIO	FACTOR AMBIENTAL	SUB FACTOR	ACTIVIDADES DEL PROYECTO						
			Recepción de AFR's	Almacenamiento de AFR's	Filtrado de aceites usados	Alimentación de AFR's al horno	Coprocesamiento (Valorización)	Tratamiento de aguas aceitosas	Mantenimiento del sistema
Físico	Aire	Emisiones de Dioxinas y Furanos					1,6		
		Emisiones de COV's					1,6		
		Emisiones de metales pesados volátiles					1,6		
		Impactos a la calidad					1,6		
	Agua	Impactos a la calidad	1,2		1,2			1,2	1,2
	Suelo	Impactos a la calidad	1,2					1,2	
Social	Calidad de vida - Economía y Desarrollo	Eliminación del pasivo ambiental					2,8		
		Ahorro en consumo de combustible fósil					2,8		
Laboral	Salud y Seguridad Laboral	Accidentes de trabajo	1,2						1,2
		Enfermedades ocupacionales					1,2		

Escala de Valores estimados					
Bajo	1.0 – 1.6	Moderado	1.7 –2.3	Alto	2.4 –3.0

	Impacto negativo
	Impacto positivo

Elaborado por el AUTOR.

Tabla 32: Matriz de importancia de los impactos.

MEDIO	FACTOR AMBIENTAL	SUB FACTOR	ACTIVIDADES DEL PROYECTO						
			Recepción de AFR's	Almacenamiento de AFR's	Filtrado de aceites usados	Alimentación de AFR's al horno	Coprocesamiento (Valorización)	Tratamiento de aguas aceitosas	Mantenimiento del sistema
Físico	Aire	Emisiones de Dioxinas y Furanos					1,4		
		Emisiones de COV's					1,4		
		Emisiones de metales pesados volátiles					1,4		
		Impactos a la calidad					1,4		
	Agua	Impactos a la calidad	1		1			1	1
	Suelo	Impactos a la calidad	1					1	
Social	Calidad de vida - Economía y Desarrollo	Eliminación del pasivo ambiental					2,3		
		Ahorro en consumo de combustible fósil					2,3		
Laboral	Salud y Seguridad Laboral	Accidentes de trabajo	1						1
		Enfermedades ocupacionales					1		

Escala de Valores estimados					
Bajo	1.0 – 1.6	Moderado	1.7 –2.3	Alto	2.4 –3.0

	Impacto negativo
	Impacto positivo

Elaborado: EL AUTOR.

Tabla 33: Matriz de Severidad de los impactos.

MEDIO	FACTOR AMBIENTAL	SUB FACTOR	ACTIVIDADES DEL PROYECTO						
			Recepción de AFR's	Almacenamiento de AFR's	Filtrado de aceites usados	Alimentación de AFR's al horno	Coprocesamiento (Valorización)	Tratamiento de aguas aceitosas	Mantenimiento del sistema
Físico	Aire	Emisiones de Dioxinas y Furanos					2,24		
		Emisiones de COV's					2,24		
		Emisiones de metales pesados volátiles					2,24		
		Impactos a la calidad					2,24		
	Agua	Impactos a la calidad	1,2		1,2			1,2	1,2
	Suelo	Impactos a la calidad	1,2					1,2	
Social	Calidad de vida - Economía y Desarrollo	Eliminación del pasivo ambiental					6,44		
		Ahorro en consumo de combustible fósil					6,44		
Laboral	Salud y Seguridad Laboral	Accidentes de trabajo	1,2						1,2
		Enfermedades ocupacionales					1,2		

Escala de Valores estimados							
Compatible	1,0 - 1,99	Moderado	2,0 - 3,6	Severo	3,7 - 5,3	Crítico	5,4 - 9

	Impacto negativo
	Impacto positivo

Elaborado: EL AUTOR.

### **3.1.8. Descripción y análisis de los impactos identificados.**

#### **3.1.8.1. Medio Físico.**

##### **3.1.8.1.1. Agua.**

Las actividades de descarga de aceites usados, el filtrado, las actividades de mantenimiento del sistema y el tratamiento de aguas aceitosas, pueden impactar la calidad del agua de los cuerpos receptores del sector si no se aplican las medidas de control adecuadas.

El impacto al agua es de magnitud e importancia baja, y compatible con el ambiente. Se evitará afectaciones al agua mediante el adecuado control de las operaciones de recepción, mantenimiento de cunetas, piscinas de tratamiento de efluentes y sistemas de bombeo de AFRS, con lo cual no se esperan afectaciones a este recurso. Además el proceso de coprocesamiento como tal, no genera efluentes líquidos, ni tampoco requiere consumo de agua.

##### **3.1.8.1.2. Suelo.**

La calidad del suelo puede ser impactada siempre y cuando existan derrames accidentales grandes de AFRs líquidos (aceites usados, solventes), pero su probabilidad de ocurrencia es sumamente baja si se aplica los estrictos controles previstos en el PMA respecto a la descarga de desechos peligrosos en la Planta. Por lo tanto su calificación en cuanto a magnitud e importancia son bajas y su severidad se la califica como compatible con el ambiente. Precisa además indicar que, el sitio las áreas de descarga y almacenamiento de AFRs son totalmente impermeabilizadas con hormigón y cuentan con un complejo sistema de recolección (cunetas y diques de contención) que evitarán cualquier afectación al suelo en el sitio donde se ejecutarán las actividades de coprocesamiento.

##### **3.1.8.1.3. Ruido.**

El proceso de coprocesamiento no incrementa los niveles de ruido en la planta.

### **3.1.8.2. Calidad del aire.**

#### *3.1.8.2.1. Emisiones de Dioxinas y Furanos.*

En su página web, El Laboratorio de Análisis de Contaminantes Persistentes, (n.d.) define a las dioxinas y furanos, como compuestos químicos organoclorados (con diferentes grados de cloración) que aparecen en procesos de incineración de desechos con compuestos aromáticos. Estos productos químicos, que constituyen dos grupos:

- policlorodibenceno-p-dioxinas (PCDD, dioxinas) y
- policlorodibenzofuranos (PCDF, furanos).

Algunas de ellas son extremadamente tóxicas.

Pueden ser liberadas cuando se produzca una combustión incompleta (a temperaturas menores a 800 °C), y pueden provenir de los combustibles y materias primas con altos contenidos de cloro, (PCBs), por lo tanto se deben tener estrecha vigilancia a la forma en la que ocurre el proceso de intercambio de calor materias primas-gases de salida del horno, manteniendo bajo control las variables que influyen en el mismo. Los resultados de las pruebas Horno 1= 0,0048 ngTEQ/m<sup>3</sup> y Horno 2 = 0,0389 ngTEQ/m<sup>3</sup> y una eficiencia de destrucción EDE del 100% demuestra la absoluta eficacia de eliminación de este tipo de emisiones en los hornos UNACEM Ecuador S.A. El límite permisible en Ecuador es 0,2 ngTEQ/m<sup>3</sup>.

El impacto es de muy baja probabilidad de ocurrencia o riesgo, siempre y cuando se apliquen un adecuado control del proceso, sobre todo de los parámetros operativos como son: control de temperatura del horno, control de exceso de oxígeno y rigurosos protocolos de aceptación de residuos especialmente con altos contenidos de cloro.

#### *3.1.8.2.2. Emisiones de gases ácidos.*

En los hornos de cemento la materia prima alimentada al horno es altamente alcalina, actuando como sistema de control de la emisión de gases ácidos. En el caso del uso de residuos como combustible alternativo el hecho de que dicho residuo contenga cloro o azufre en la combustión hará que se generen gases ácidos como el cloruro de hidrógeno y el óxido de azufre. Estos gases son neutralizados y absorbidos en su práctica totalidad por

la materia prima, de naturaleza alcalina. Las sales inorgánicas formadas se incorporan al clínker. (Kare Helge, 2004).

#### *3.1.8.2.3. Emisiones de VOCs (Volatile Organic Compounds).*

La normativa ecuatoriana exige que la cantidad de hidrocarburos totales (THC) en los gases de salida del horno sea inferior a 20 mg/Nm<sup>3</sup>. Si la materia prima o combustibles alternativos contiene demasiado material orgánico, se generan sustancias volátiles en la alimentación en la entrada del horno, elevando el nivel de componentes orgánicos volátiles por encima de 20 ppm. Cuando sucede esto, se debe cortar automáticamente la alimentación de combustible alternativo.

La combustión pobre, a menudo causada por el elevado contenido en agua de los combustibles de residuos, también puede producir elevado contenido de VOC's. Las concentraciones de THC en la pruebas preoperativas son: Horno 1: 12,267 mg/Nm<sup>3</sup>, Horno 2: 9,405 20 mg/Nm<sup>3</sup>.

Al igual que el caso de las dioxinas el impacto es de muy baja probabilidad de ocurrencia o riesgo, siempre y cuando se apliquen un adecuado control del proceso.

#### *3.1.8.2.4. Emisiones de Metales Pesados.*

Para el caso de metales pesados se han medido porcentajes de retención en los sólidos del proceso de más del 99,999 %. Los metales volátiles como el mercurio y el talio, deberán ser controlados y limitados en los residuos. El control de las emisiones mediante el uso de eficientes equipos de separación de partículas, es una medida directa en el control de las emisiones de metales al medioambiente.

Las concentraciones de Hg en las pruebas fueron: 0,00407 mg/Nm<sup>3</sup> para el Horno 2 y 0,00934 mg/Nm<sup>3</sup> para el Horno 1. El Límite en Ecuador es 0,08 mg/Nm<sup>3</sup>, y la eficiencia de destrucción en el caso del Mercurio y del Talio fue del orden de 99,999 %.

El impacto es de muy baja probabilidad de ocurrencia o riesgo, siempre y cuando se apliquen rigurosos protocolos de aceptación de residuos especialmente con altos contenidos de mercurio, talio y cadmio por tratarse de metales pesados volátiles, aspecto que también

debe ser controlado en las materias primas que ingresan al proceso en especial las escorias de acería.

El resto de metales pesados que no tienen características de volatilidad, quedan retenidos total e íntegramente en la matriz cristalina del clínker, en este caso se recomienda controles periódicos del producto final, mediante ensayos de lixiviación.

### **3.1.8.3. Salud y seguridad laboral.**

Si no se toman las medidas pertinentes en el correcto uso de los equipos de protección personal y el que no se realice los trabajos bajo las más estrictas normas de seguridad recomendadas para la manipulación de desechos peligrosos, conllevan cierto riesgo de accidentes laborales y riesgos a la salud de las personas encargadas de esta actividad, de igual manera las operaciones de mantenimiento del sistema implica cierto riesgo de accidentes laborales y es posible que el impacto sea irreversible.

Entre los impactos potenciales que podrían ocurrir, están:

- La probabilidad de que ocurra un incendio en la descarga y la posibilidad que el incendio se propague a los alrededores.
- La probabilidad de derrames accidentales de los aceites usados los que pueden causar contaminación del suelo y riesgos de contactos a la piel e inhalación de los operadores.
- Existe además el riesgo de que se produzcan enfermedades ocupacionales en las personas encargadas de la manipulación de los desechos peligrosos, pero con una muy baja probabilidad de ocurrencia debido a que la empresa UNACEM Ecuador mantiene un alto estándar de seguridad en sus operaciones industriales.

### **3.1.8.4. Medio Social.**

#### **3.1.8.4.1. Calidad de Vida-Economía y Desarrollo.**

Los impactos positivos se relacionan a los siguientes factores:

- *Disminución de consumo de combustible de petróleo.*

Coadyuvar a solucionar el pasivo ambiental que representan para el país los desechos peligrosos, especialmente los aceites usados y otros residuos de hidrocarburos al reducir el peligro de toxicidad (por sus características pueden expandirse en grandes áreas de suelos y aguas), y minimizar el impacto negativo que pueden provocar en la salud humana contaminantes tóxicos, como los compuestos aromáticos y metales pesados.

“Se calcula que un litro de aceite lubricante usado puede contaminar un millón de litros de agua, en tanto 5 litros del mismo producto, vertidos sobre un lago, cubren una superficie de 5000 m<sup>2</sup> con una película oleosa que perturba la vida acuática”. (Jiménez Díaz, 2012).

El coprocesamiento de los aceites usados de manera segura en los hornos de clínker de las cementeras, resulta doblemente beneficioso, si se tiene en cuenta que 5 litros de aceite lubricante usado quemados sin control, contaminan un volumen de aire equivalente al que respira una persona a lo largo de 3 años de su vida. (Congreso de Colombia, 2005).

El empleo de AFRs en coprocesamiento en hornos rotativos de plantas cementeras, consigue un doble objetivo, por una parte se obtiene su valorización energética y por otra se destruyen controladamente estos residuos peligrosos, con la tecnología más versátil para el efecto.

- *Incremento de la actividad productiva.*

Se debe recordar además que, con el Proyecto de Coprocesamiento se mantiene e impulsa positivamente la actividad productiva de procesamiento de cemento de la empresa UNACEM Ecuador S.A, que es una industria con un gran efecto multiplicador respecto al ámbito laboral, del cual dependen miles de familias ecuatorianas y que además genera recursos al estado ecuatoriano a través de los impuestos de ley.

### **3.2. Comparación de la situación anterior y la situación con Coprocesamiento.**

La Tabla siguiente nos permite comparar el proceso con y sin actividades de coprocesamiento.

Tabla 34: Comparación del proceso con coprocesamiento.

<b>Actividad o Proceso</b>	<b>Antes del Proyecto</b>	<b>Con el Proyecto</b>
Utilización combustibles alternativos	< 0.5 % aceite usado	< 30 % aceite usado y otros desechos peligrosos
Caracterización de combustibles	Se caracteriza parámetros en el fuel oil o crudo residual de manera mensual	Se controlarán los mismos parámetros que se ensayan en el fuel oil de manera mensual
Proveedores (origen) de los combustibles alternativos	Aceite usado generado internamente en UNACEM Ecuador	Aceite usado o residuos de hidrocarburos generados por empresas industriales que deseen realizar una adecuada disposición de sus desechos.

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

### **3.3. Análisis de las factibilidades legal – ambiental, técnica y económica del proyecto de valorización energética del aceite usado en coprocesamiento en los hornos cementeros de UNACEM Ecuador S.A.**

#### **3.3.1. Análisis de la factibilidad Legal - Ambiental.**

Si bien Ecuador ha avanzado en los últimos años en materia ambiental, es necesario considerar que, recién en el 2011, se instauró un marco legal e institucional base, para impulsar una política en torno al coprocesamiento de residuos peligrosos.

Los importantes volúmenes de residuos industriales peligrosos generados anualmente y el problema que ocasionan su manejo y eliminación, condujeron a la elaboración de la “Norma Técnica para el Coprocesamiento de Desechos Peligrosos en Hornos Cementeros”, aprobada en el Acuerdo Ministerial 048 del 13 de Mayo del 2011 del Ministerio del Ambiente.

##### **3.3.1.1. Marco Legal Ambiental.**

En materia legal – ambiental, el principal ente de control del coprocesamiento de residuos peligrosos es el Ministerio del Ambiente.

##### **3.3.1.1.1. Requerimientos de permisos.**

De acuerdo a lo establecido en el Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA), toda persona natural o jurídica que pretenda emprender proyectos de gestión de residuos peligrosos debe cumplir con los siguientes requisitos relevantes:

- *Estudio de Impacto Ambiental (EIA).*

Previamente deberá:

- Evaluar los Impactos Ambientales del proyecto tanto en sus fases de construcción, operación y abandono.
- Presentar y valorar el Plan de Manejo Ambiental (PMA) para la mitigación de los impactos ambientales.

- *Licencia Ambiental.*

Los requisitos previos son:

- Hacer un análisis institucional para definir la autoridad ambiental de aplicación responsable que liderará el proceso de licenciamiento.
- Presentar el EIA como punto de partida del proceso de licenciamiento.

- *Auditoría Ambiental (AA).*

Presentar al menos cada dos años la AA de cumplimiento con el Plan de Manejo Ambiental (PMA) y la normativa vigente a la autoridad ambiental.

- *Reporte de monitoreos.*

La empresa deberá presentar anualmente a la Autoridad Ambiental competente, un reporte del monitoreo de los parámetros establecidos en la norma, independiente de la auditoría ambiental de cumplimiento.

- *Reporte anual de mediciones.*

Para mediciones continuas, el reporte anual deberá incluir promedios anuales de los promedios diarios, el número de promedios diarios que excedan el valor límite y las acciones tomadas para cerrar las no conformidades levantadas.

#### *3.3.1.1.2. Leyes y reglamentos que están relacionados con el proyecto.*

Las empresas productoras de cemento que utilicen o pretendan usar sus hornos para el Coprocesamiento de desechos peligrosos deben cumplir con la normativa ambiental vigente para el desarrollo de sus actividades, la misma que está regulada a través de leyes y reglamentos compilados en:

- Constitución Política de la República
- Ley de Gestión Ambiental (LGA)
- Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental
- Ley de Patrimonio Cultural
- Ley de Régimen Municipal
- Ley Forestal, de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre
- Ley de Aguas
- Ley Reformatoria del Código Penal.
- Ley Orgánica de la Salud.
- Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente.
- Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA).
- Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental.
- Reglamento de Aplicación a la Ley de Aguas.
- Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo.
- Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación por Sustancias químicas peligrosas, Desechos Peligrosos y especiales.
- Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.
- Reglamento para la Aplicación de la Ley Sobre Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas.
- Reglamento para el funcionamiento de Servicios Médicos en Empresas.
- Decreto Ejecutivo No. 1040 publicado en el Registro Oficial No. 332 del 8 de mayo de 2008.
- Instructivo al Reglamento de Aplicación de Mecanismos de Participación Social.
- Reformas al Instructivo al Reglamento de Aplicación de los Mecanismos de Participación Social.
- Acuerdo Ministerial No. 026 del Ministerio de Ambiente.
- Acuerdo Ministerial No. 142 del MAE.
- Acuerdo Ministerial 068 del MAE.

- Norma Técnica Para El Coprocesamiento De Desechos Peligrosos En Hornos Cementeros.
- Normas Técnicas del Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Resolución No. 182 Del COMEXI.
- Ordenanzas Municipales del Cantón Otavalo.
- Código del Trabajo.
- Código de la Salud.
- Código Penal.
- Codificación de la Ley de Defensa contra Incendios.
- Reforma a la Norma de Calidad de Aire o Nivel de Inmisión.
- Convenio de Basilea.
- Convenio de Estocolmo.
- Convenio de Rotterdam.

En Ecuador la única forma de disposición segura para el aceite usado es la quema en hornos cementeros, debido a que las altas temperaturas de combustión requeridas por el proceso (superiores a los 1000°C) y los prolongados tiempos de residencia aseguran la destrucción de las sustancias químicas potencialmente peligrosas que pueden estar presentes en el aceite.

UNACEM Ecuador es la única planta cementera que tiene Licencia Ambiental para coprocesar residuos peligrosos en sus hornos cementeros. Ninguna de las otras empresas dedicadas a esta actividad tiene los permisos correspondientes para utilizar este residuo peligroso como combustible.

A otro nivel, y dentro de las actividades de carácter informal, es común el uso de aceites para quema en calderas no acondicionadas para este tipo de combustible y su uso como elemento lubricante de cadenas y otros dispositivos mecánicos. Esta actividad, a pesar de no ser permitida es realizada desde hace ya varios años en el país de forma regular.

### ***3.3.1.2. Tabulación de resultados de las emisiones gaseosas y material particulado de los hornos.***

La Empresa UNACEM ECUADOR S.A., realiza muestreos trimestrales de emisiones de los gases de combustión de los hornos. Los monitoreos del período 2015, fueron realizados por

el Laboratorio CESTTA de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “ESPOCH”, laboratorio acreditado ante la SAE.

A continuación se detallan los resultados de la medición de emisiones tanto del Horno 1 como del Horno 2.

Tabla 35: Resultados de las emisiones gaseosas Horno 1 (2015).

<b>Chimenea Salida Electrofiltro Horno No. 1</b>								
<b>Norma reguladora</b>								
Tulas Libro VI. Anexo 3. Tabla 6. Límite máximo permisible emisiones al aire para elaboración de Cemento. Condiciones normales, Base Seca y Corre al 7% O <sub>2</sub> . Fuentes Existentes				Norma Técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en Hornos Cementeros. Tabla 2 "Niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera". Condiciones normales, 1013 mmHg y 0°C, corrección al 7% de O <sub>2</sub> . Acuerdo Ministerial 048				
<b>Parámetro</b>	<b>Norma</b>	<b>Unidades</b>	<b>2 - 6 febr</b>	<b>Norma</b>	<b>Unidades</b>	<b>4 - 8 mayo</b>	<b>3 - 7 agosto</b>	<b>14 nov – 1 dic</b>
Material Particulado (MP)	150	mg/Nm <sup>3</sup>	92	80	mg/Nm <sup>3</sup>	26,27	45,6	59.44
Oxidos de Azufre (SO <sub>2</sub> )	800	mg/Nm <sup>3</sup>	1	800	mg/Nm <sup>3</sup>	0	0	0
Oxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	1800	mg/Nm <sup>3</sup>	1291	1400	mg/Nm <sup>3</sup>	336	766	1335.5

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Tabla 36: Resultados de las emisiones gaseosas Horno 2 (2015)

Chimenea Salida del filtro Horno No. 2								
Norma reguladora								
	Tulas Libro VI. Anexo 3. Tabla 6. Límite máximo permisible emisiones al aire para elaboración de Cemento. Condiciones normales, Base Seca y Corre al 7% O2. Fuentes Existentes			Norma Técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en Hrnos Cementeros. Tabla 2. niveles máximos permisibles de emisiones a la atósfera. CN, 1013 mmHg y 0°C, corrección al 7% de O2. Acuerdo Ministerial 048				
Parámetro	Norma	Unidades	2 - 6 febr	Norma	Unidades	4 - 8 mayo	3 - 7 agosto	14 nov – 1 dic
Material Particulado (MP)	50	mg/Nm <sup>3</sup>	30,0	80	mg/Nm <sup>3</sup>	49,9	59,53	68.49
Oxidos de Azufre (SO2)	600	mg/Nm <sup>3</sup>	0,0	800	mg/Nm <sup>3</sup>	0	36,0	24.4
Oxidos de Nitrógeno (NOx)	1300	mg/Nm <sup>3</sup>	924,0	1400	mg/Nm <sup>3</sup>	392	838	867.8

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

### 3.3.1.3. Impactos del coprocesamiento.

Las emisiones se presentan como condiciones normales, base seca (0 ° C y 101,3 kPa) corregidos al 7% de oxígeno (unidades de información de Estados Unidos), siendo establecido en la Tabla 2: Niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera del Registro Oficial N° 439 Acuerdo Ministerial No. 048 Norma Técnica para El Coprocesamiento De Desechos Peligrosos En Hornos Cementeros.

Para establecer los límites de emisión de las actividades de coprocesamiento con uso de desechos peligrosos AFR, la línea base a utilizarse son los resultados de las emisiones con combustible fósil medidos en el año 2013 por el Laboratorio DPEC de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central, realizados el 25 de febrero del 2013 antes de que se ejecuten las actividades de coprocesamiento en la Planta. De esta forma se determina el nivel de emisiones asociados al proceso de cemento con el uso de combustible y/o materia prima tradicional y luego se compara con los resultados de las emisiones con el uso de combustibles y/o materia prima alternativa. Luego se compara ambas mediciones para verificar que el coprocesamiento de (AFR) no genera un impacto significativo en términos de emisiones.

Los valores establecidos como línea base están fundamentados en los protocolos de prueba (Trial Burn) presentados por UNACEM Ecuador en el Estudio de Impacto Ambiental ya aprobado por la Autoridad Ambiental competente en Enero del 2014.

La tabla siguiente presenta un resumen de los resultados de las pruebas de emisiones utilizadas para obtener la línea base en comparación con los límites de emisión del Acuerdo Ministerial No. 048 Norma Técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en hornos cementeros. También se menciona la frecuencia obligatoria de monitoreo.

Tabla 37: Línea Base de emisiones gaseosas.

<b>Línea Base de Emisiones (25 de Febrero del 2013)</b>					
<b>Compuesto</b>	<b>Unidades de medida<sup>(1)</sup></b>	<b>Horno 1</b>	<b>Horno 2</b>	<b>Límite Permisible</b>	<b>Frecuencia de monitoreo</b>
HCL	mg/Nm <sup>3</sup>	0,178	0,328	10	Anual
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	801.2	455.1	1400	Semestral y continuo
NH <sub>3</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	2.130	2.110	30	Anual
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0	54.2	800	Semestral y continuo
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	235,5	115,4		
Benceno	mg/Nm <sup>3</sup>	0,68	0,77	5	Anual
Material Particulado	mg/Nm <sup>3</sup>	41.75	50.93	80	Semestral y continuo
Sb, AS, Ni, Mn, Pb, Cr, V, Co y Cu.	mg/Nm <sup>3</sup>	0,0111	0.0091	0,8 <sup>(3)</sup>	Anual
Cd y Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	0,00018	0,00010	0,08	Anual
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0,0	0	0,08	Anual
Dioxinas y Furanos	ngTEQ/m <sup>3</sup>	0,011489	0,011141	0,2	Anual
VOC's	mg/Nm <sup>3</sup>	17.55	18.46	20 <sup>(2)</sup>	Anual y continuo

(1) Condiciones normales, base seca, corregido al 7% de oxígeno (O<sub>2</sub>) en volumen.

(2) Sobre la línea base (medición con combustible fósil).

(3) Suma total de metales.

Fuente: Datos del Laboratorios DPEC de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central, realizados el 25 de febrero del 2013.

Elaborado: EL AUTOR.

#### **3.3.1.4. Parámetros Analizados.**

El punto más importante de emisión a la atmósfera por chimenea en una planta cementera es la del horno de clínker. Estas emisiones gaseosas y de material particulado, provienen de

las reacciones físicas y químicas de las materias primas procesadas y de los combustibles empleados para la cocción.

Los principales constituyentes de los gases de salida de un horno de cemento son: nitrógeno del aire de combustión;  $\text{CO}_2$  de la descarbonatación del  $\text{CaCO}_3$  y de la oxidación del combustible; vapor de agua del proceso de combustión y de las materias primas; y exceso de oxígeno.

La Norma de coprocesamiento obliga a que los valores de ciertos parámetros sean monitoreados continuamente, estos son:

- *Material Particulado.*

Las chimeneas de cada uno de los hornos de UNACEM Ecuador, cuentan con su respectivo opacímetro que mide la cantidad de partículas sólidas emitidas al aire y presentan la información en las pantallas de control de la operación de los hornos.

- $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$ .

La operación de los hornos está dirigida en su mayoría, hacia el mejoramiento de la eficiencia de la combustión, por esta razón todos los hornos cementeros, en la salida, disponen de analizadores de emisiones de gas de combustión que registran en forma continua los valores de:

- Oxígeno,
- Monóxido de Carbono,
- Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y
- Óxidos de Azufre ( $\text{SO}_2$ ).

Monóxido de Nitrógeno ( $\text{NO}$ ) y dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) son los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) predominantes en los gases emitidos por el horno de cemento ( $\text{NO} > 90\%$  de los óxidos de nitrógeno).

Hay dos fuentes principales para la producción de  $\text{NO}_x$ :

- $\text{NO}_x$  térmico: parte del nitrógeno en el aire de combustión reacciona con oxígeno para formar óxidos de nitrógeno.

- $\text{NO}_x$  de combustible: los compuestos de nitrógeno presentes en el combustible reaccionan con el oxígeno para formar óxidos de nitrógeno.

La formación de  $\text{NO}_x$  térmico se potencia en gran medida cuando la temperatura de combustión es superior a los 1.200 °C, reaccionando las moléculas de nitrógeno y oxígeno en el aire de combustión.

El  $\text{NO}_x$  térmico se produce principalmente en la zona de clinkerización del horno, en la que se alcanzan temperaturas cercanas a los 2000 °C. La cantidad de  $\text{NO}_x$  térmico generado en esta zona está relacionado tanto con la temperatura como con el contenido de oxígeno (factor de exceso de aire). Cuanto mayor sea el exceso de oxígeno, mayor será la formación de  $\text{NO}_x$  térmico.

Cuando las materias primas son de difícil cocción la temperatura de la zona de clinkerización debe ser mayor, lo que implica necesariamente la generación de más  $\text{NO}_x$  térmico. La facilidad de quema del crudo depende de la cristalografía / mineralogía de los compuestos que lo conforman y de la presencia de minerales fundentes (hierro, aluminio).

Las emisiones de Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en las fábricas de cemento están directamente relacionadas con el contenido en compuestos volátiles de azufre en las materias primas.

Los sulfuros y el azufre orgánico presentes en las materias primas se evaporarán en cuanto la temperatura del crudo comience a elevarse, y el 30% o más pueden emitirse desde la primera etapa del intercambiador de ciclones. Los gases de esta etapa se emiten a la atmósfera o se llevan al molino de crudo cuando éste está en funcionamiento.

El azufre presente en los combustibles que alimentan los hornos con precalentador no genera emisiones significativas de  $\text{SO}_2$ , debido a la naturaleza fuertemente alcalina en la zona de sinterización, en la zona de calcinación y en la etapa más baja del precalentador. Este azufre quedará atrapado en el clínker. El exceso de oxígeno (del 1 al 3% de  $\text{O}_2$  mantenido en el horno para conseguir una buena calidad del cemento) oxidará los compuestos sulfurosos liberados, convirtiéndolos en  $\text{SO}_2$ . (Concreto Online, n.d.)

➤ *Compuestos orgánicos volátiles (VOC's).*

El contenido de CO y VOC's en los gases emitidos por la chimenea del horno se ve afectado, además de por las condiciones de la combustión, por el contenido en materia orgánica de las materias primas, que se ven parcialmente oxidadas en contacto con los gases del horno, lo que afecta al nivel de monóxido de carbono y de compuestos orgánicos volátiles en los gases.

Cuando los hornos de clínker utilizan residuos orgánicos como combustibles alternativos (neumáticos, disolventes, aceites) se realiza un control exhaustivo de la emisión que incluye, además de los contaminantes mencionados en los párrafos anteriores, los siguientes:

- Metales y sus compuestos.
- Mercurio.
- Cadmio y Talio.
- Dioxinas y furanos (PCDDs y PCDFs).

La emisión de estos cuatro contaminantes es normalmente muy baja, pero su control permite garantizar una correcta operación del horno en actividades de tratamiento de residuos peligrosos.

**3.3.1.5. Resumen de resultados.**

La Tabla 38 presenta un resumen de los resultados de pruebas de emisiones en comparación con los límites de emisión del Acuerdo Ministerial No. 048 norma técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en hornos cementeros.

Tabla 38: Resultados de los monitoreos de emisiones en los hornos.

Compuesto	Unidades de Medida	Horno 1 (Línea Base)	Horno 1 con Coprocesamiento	Horno 2 (Línea Base)	Horno 2 con Coprocesamiento	Límite permisible <sup>1</sup>
HCl	mg/m <sup>3</sup>	0,178	0,307	0,328	0,542	10
NOx	mg/m <sup>3</sup>	801,2	1335,5	455,1	867,8	1400
NH <sub>3</sub>	mg/m <sup>3</sup>	2,13	3,545	2,11	6,49	30
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0	0	54,2	24,4	800
VOC's	mg/m <sup>3</sup>	17,55	16,99	18,46	17,23	20 <sup>2</sup>
Benceno	mg/m <sup>3</sup>	0,68	0,79	0,77	0,92	5
Material Particulado	mg/m <sup>3</sup>	41,75	59,44	50,93	68,49	80
Sb, As, Ni, Mn, Pb, Cr, V, Co, Cu	mg/m <sup>3</sup>	0,0111	0,0384	0,0091	0,0157	0,8 <sup>3</sup>
Cd y Tl	mg/m <sup>3</sup>	0,00018	0,00023	0,0001	0,00014	0,08
Hg	mg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0,08
Dioxinas y Furanos	ngTEQ/m <sup>3</sup>	0,011489	0,024755	0,011141	0,027309	0,2

(1) Condiciones normales, base seca, corregido al 7% de oxígeno (O<sub>2</sub>) en volumen.

(2) Sobre la línea base (medición con combustible fósil).

(3) Suma total de metales.

Fuente: UNACEM Ecuador.

Elaborado: EL AUTOR.

Las emisiones de los hornos de UNACEM Ecuador S.A están por debajo de todos los límites máximos permisibles de emisión a la atmosfera de acuerdo a lo estipulado en la Tabla 2. Del Acuerdo Ministerial No.048 norma técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en hornos cementeros.

### **3.3.1.6. Consumo de combustibles y emisiones en los hornos.**

#### **3.3.1.6.1. Horno 1.**

La tabla siguiente nos presenta el promedio anual de las emisiones, el mix y el total de combustible utilizado para producir 432.007 toneladas de clínker durante el año 2015.

Tabla 39: Totales del Horno 1.

Horas de operación	Clinker Producido	HFO		PETCOKE		PKS GRUESO		ACEITE USADO		Emisiones
		Consumo	Porcentaje	Consumo	Porcentaje	Consumo	Porcentaje	Consumo	Porcentaje	
H	ton	GLS	%	Ton	%	Ton	%	GLS	%	mgr/m3
7.077,7	432.007	7.180.021	62,7%	6.305	12,9%	630	0,8%	3.030.928	23,6%	58,8

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

El consumo de aceite usado representa un 23.6% del total del mix de combustible utilizado durante el 2015 para elaborar 432.007 toneladas de clínker. Ese porcentaje se traduce en 3'030.928 galones de aceite que se inyectaron al horno como combustible alternativo en lugar de HFO.

### 3.3.1.6.2. Horno 2.

El promedio anual de las emisiones, el mix y la cantidad de combustible utilizado para producir 512.074 toneladas de clínker durante el año 2015 están presentados en la tabla que a continuación se expone.

Tabla 40: Totales del Horno 1.

Horas de operación	Clinker Producido	HFO		PETCOKE		PKS GRUESO		ACEITE USADO		Emisiones
		Consumo	Porcentaje	Consumo	Porcentaje	Consumo	Porcentaje	Consumo	Porcentaje	
H	ton	GLS	%	Ton	%	Ton	%	GLS	%	mgr/m3
7.411,1	512.074	2.624.639	20,3%	22.551	40,9%	20.200	22,3%	2.404.161	16,6%	22,47

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

El consumo de aceite usado representa un 15.5% del total del mix de combustible utilizado durante el 2015 para elaborar 512.074 toneladas de clínker. Ese porcentaje se traduce en 2.404.151 galones de aceite que se inyectaron al horno como combustible alternativo en lugar de HFO.

### 3.3.1.7. Medición de emisiones gaseosas.

#### 3.3.1.7.1. Horno 1.

En el Anexo 1 se presenta un cuadro estadístico con los valores promedios diarios de las emisiones de material particulado en el horno 1, el tipo y cantidad de combustible usado para una producción de 7.077 toneladas de clínker anuales.

De esta recopilación diaria podemos relacionar el porcentaje del aceite usado en el mix de combustibles con la cantidad de emisiones de polvo medidas en la chimenea de salida del horno. Para una mejor visualización se presenta como referencia el límite permisible.

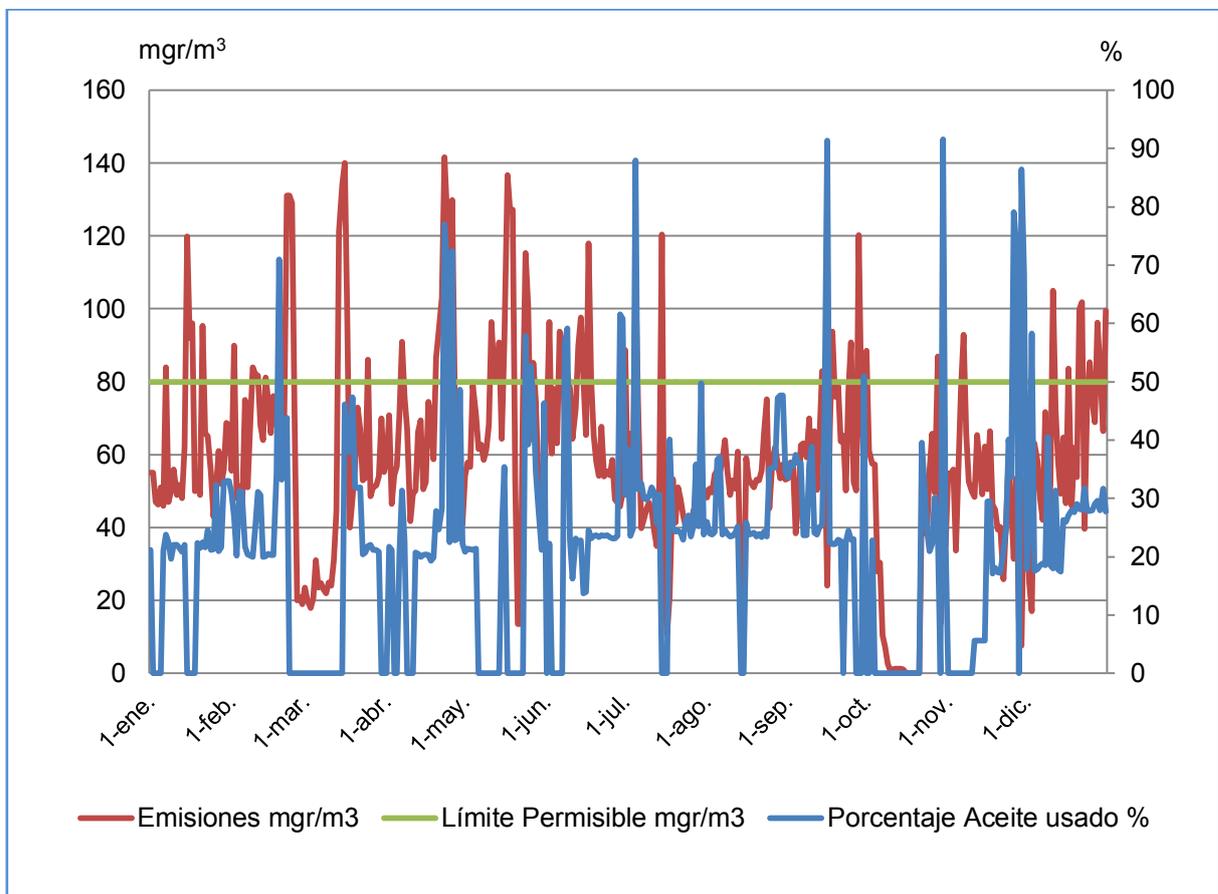


Figura 10: Relación entre el porcentaje de aceite usado y las emisiones del Horno 1.

Fuente: UNACEM Ecuador.

Elaborado: EL AUTOR.

A pesar de que el promedio anual ( $58 \text{ mgr/m}^3$ ) no superó los  $80 \text{ mgr/m}^3$  como valor máximo permitido, el gráfico nos permite apreciar que durante 62 días, la media diaria de la cantidad

de polvo emitido fue mayor a la norma establecida. Pero esta particularidad también nos permite identificar que no existe relación entre el porcentaje de inyección de aceite usado con la cantidad de polvo emitido a la atmósfera porque hay días en los que no se usa aceite automotriz como combustible pero se nota que el polvo emitido supera los 80 mgr/m<sup>3</sup> tal como se aprecia en el siguiente cuadro comparativo y su respectivo gráfico.

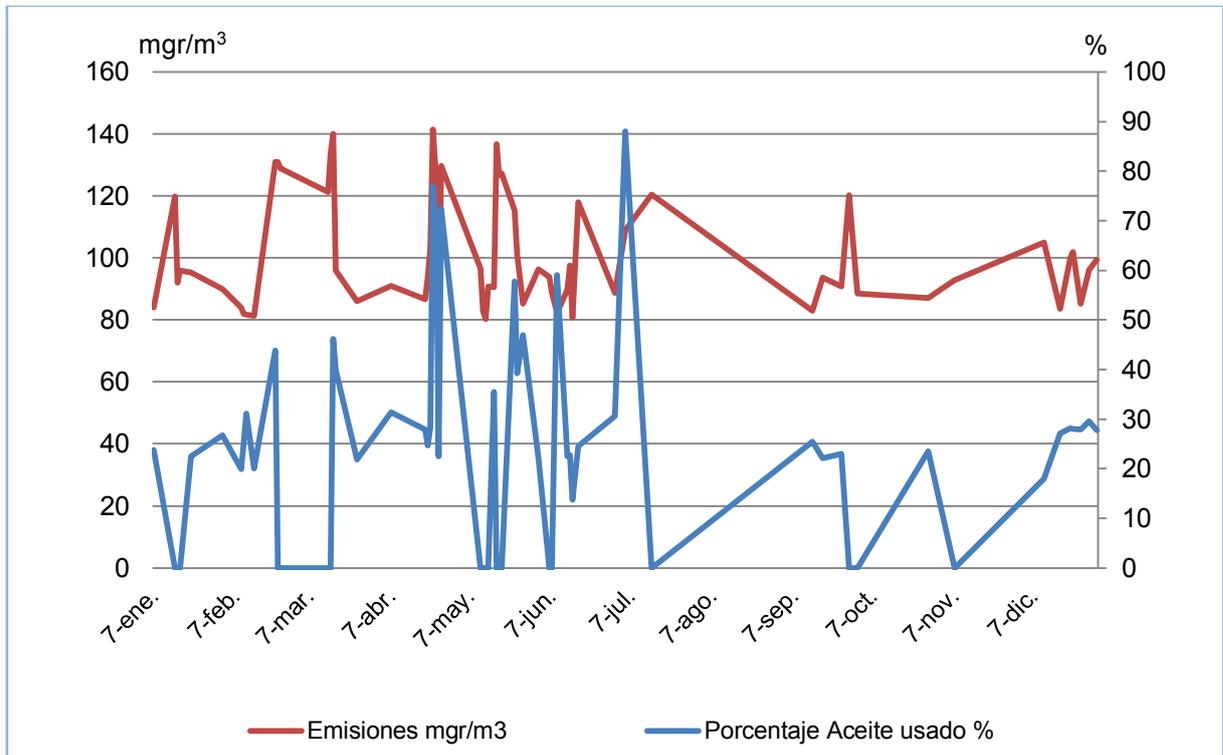


Figura 11: Relación entre el porcentaje de aceite usado y las emisiones fuera de norma del Horno 1.

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

La norma ambiental vigente en la cual se encuadran las operaciones de coprocesamiento pide en su artículo 4.12. que: “Para mediciones continuas, el reporte anual de emisiones entregado a la Autoridad Ambiental competente deberá incluir:

- Promedios anuales de los promedios diarios.
- Número de promedios diarios que excedan el valor límite.
- Desviaciones estándar de los promedios diarios.
- Acciones tomadas para levantar las no conformidades”

En este punto se encuentra un vacío legal porque el reglamento emitido no disgrega si el horno no está funcionando. Cuando esto sucede, por diversas razones que pueden ser operativas o de mantenimiento, el opacímetro va a marcar una cantidad cercana a 0 mgr/m<sup>3</sup> lo que va a bajar el promedio anual real de la cantidad de polvo emitido a la atmósfera.

En UNACEM Ecuador, se realizan campañas de mantenimiento de los hornos cada seis meses durante aproximadamente 20 días. Estos períodos de inactividad no deberían ser tomados en cuenta para el promedio de emisiones.

Como dato informativo, el Horno 1 de UNACEM Ecuador trabajó 295 días en el 2015.

La tabla siguiente nos muestra el tiempo de trabajo de los dos hornos y la duración y tipo de los paros.

Tabla 41: Tiempo de utilización de los hornos.

	Utilización de los hornos	
	Horno 1	Horno 2
Días trabajados	294,9	308,8
Paros programados	45,0	38,5
Paros incidentales	13,4	11,2
Paros Circunstanciales	11,7	6,5

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Si se hubiera tomado a en cuenta solamente los días trabajados, el promedio anual de las emisiones subiría de 58 a 61.7 mgr/m<sup>3</sup>, aunque todavía se mantuvo bajo el valor del parámetro establecido en la norma ministerial.

Para conservar la Licencia de Coprocesamiento, UNACEM Ecuador deberá remitir al Ministerio del Ambiente las causas por las que, en 62 días se superó el límite permisible de la cantidad de emisiones y las acciones correctivas tomadas para evitar incurrir en esto.

Como se mencionó anteriormente el sistema de captación de polvo del Horno 1 está conformado por 2 precipitadores electrostáticos que por seguridad tiene un rango de funcionamiento, en cuanto a la presencia de partículas por millón de monóxido de carbono.

Para evitar riesgos de explosiones en el electrofiltro, estos se desconectan automáticamente cuando se supera las 3750 ppm de CO durante 15 segundos. Se contabilizaron 10 disparos del electrofiltro durante el 2015.

### 3.3.1.7.2. Horno 2.

En el Anexo 2 se presenta un cuadro estadístico con los valores promedios diarios de las emisiones de material particulado en el horno 2, el tipo y cantidad de combustible usado para una producción de 7.411 toneladas de clínker anuales.

De esta recopilación diaria podemos relacionar el porcentaje del aceite usado en el mix de combustibles con la cantidad de emisiones de polvo medidas en la chimenea de salida del horno 2. Para una mejor visualización se presenta como referencia el límite permisible.

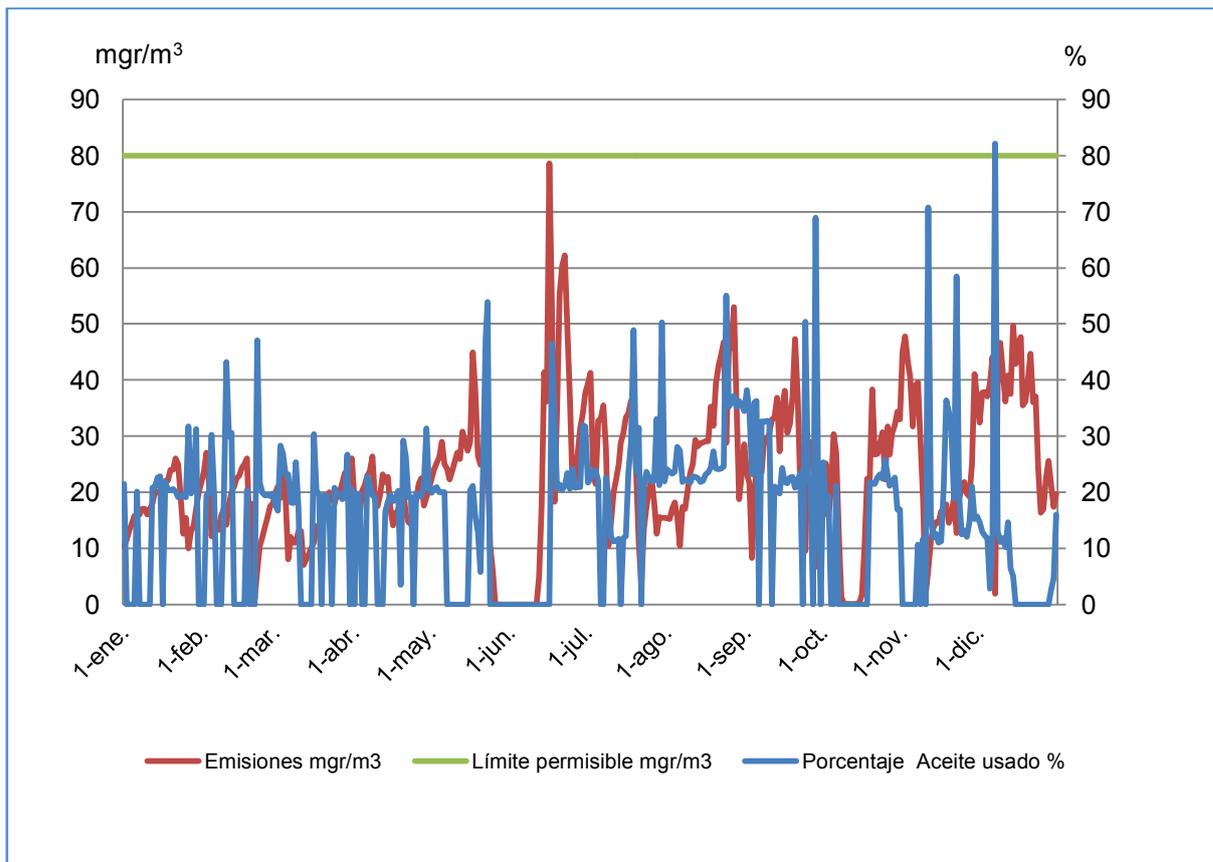


Figura 12: Relación entre el porcentaje de aceite usado y las emisiones del Horno 2.

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR

En el Horno 2 no existe ni un solo valor del promedio diario de emisiones de polvo que haya superado los 80 mgr/m<sup>3</sup>, y el día en que más alto se observa (16 junio) 78,7 mgr/m<sup>3</sup> se tuvo un porcentaje de sustitución de combustible con aceite del 0%. Esto viene a corroborar nuevamente la idea de que la cantidad de polvo emitido no depende del porcentaje de aceite usado en el mix de combustibles.

En este sistema las emisiones de polvo estuvieron dadas por las condiciones físicas de los elementos filtrantes. Si por alguna razón una manga está rota, el polvo tomará esta vía y saldrá por la chimenea hacia la atmósfera.

### **3.3.2. Análisis de la factibilidad Técnica.**

Fue necesario cuantificar los posibles impactos del reemplazo de búnker con diferentes porcentajes de sustitución de aceite usado en la operación de los hornos al producir clínker.

Además se debió identificar las medidas necesarias para compensar o aliviar los impactos negativos encontrados para poder establecer la factibilidad del proyecto desde su perspectiva técnica.

#### **3.3.2.1. Evaluación de los impactos del aceite usado en el proceso.**

El aceite usado tiene un poder calorífico relativamente alto (8.800 Kcal/Kg) pero en perjuicio de su utilización como combustible, está la presencia de agua (>8%) y de sólidos en suspensión (>2%).

Cuando la mezcla contiene una humedad superior a la máxima requerida, su inyección al proceso genera impactos debido a la diferencia en energía térmica suministrada por el combustible. Cuando las dosificaciones de aceite usado son pequeñas, puede suceder que los efectos negativos en los hornos desaparezcan por entre las fluctuaciones normales del proceso y este absorba esas pequeñas cantidades de agua inyectadas sin perjuicio de la fiabilidad y producción diaria.

Si las fluctuaciones fueran altas, con valores de humedad mayores al 10%, el impacto en el desempeño del horno es significativo porque la operación del mismo se vuelve sensible y difícil. Adicionalmente si la mezcla de combustibles no es homogénea, no hay respuesta válida ante las variaciones en el proceso y las pérdidas de producción serían notorias.

De acuerdo a los balances realizados en los dos hornos por el Departamento de Procesos de UNACEM Ecuador, la utilización de pet coke como combustible genera una entrada significativa de azufre que favorece la formación de incrustaciones y anillos en el horno y los ciclones del precalentador. Los álcalis (Óxidos de Sodio y Potasio) que vienen principalmente ligados con la arcilla, facilitan que el azufre pueda ser capturado y posteriormente fijado en el clínker en una relación de uno a uno, saliendo del circuito de gases dentro del horno.

El azufre restante dificulta el proceso de precalentamiento debido a las adherencias que ocasiona en el circuito. Para combatir este efecto se tienen instalados cañones de aire en ciertos lugares considerados claves y que disparan regularmente aire comprimido para limpiar el sistema. Adicionalmente se cuenta con una bomba de agua a alta presión que puede dirigir un chorro de agua que “corta” el material pegado a las paredes. Otro sistema de limpieza instalado en los hornos de UNACEM Ecuador utiliza CO<sub>2</sub> inyectado en estado líquido en un tubo de acero al carbono, en el cual se ha introducido un calentador (cardox) y este gas, al pasar de líquido a gaseoso, se expande saliendo al exterior con presiones muy altas.

Entonces el ingreso adicional de azufre por la inyección de aceite usado debe ser tomado en cuenta para realizar campañas de limpieza periódicas de los ciclones del precalentador y horno.

Con respecto a la presencia de cloro en el sistema, también es un factor que debe ser considerado por su alto poder de corrosión y porque este elemento también forma incrustaciones, especialmente en los ciclones cercanos a la entrada el horno debido a que la temperatura de condensación del mismo es cercana a los 900 °C. El aceite usado no aporta casi nada de cloro al proceso.

#### **3.3.2.2. Criterios físico químicos de aceptación del aceite usado.**

Para garantizar las operaciones de producción de clínker en los hornos de UNACEM Ecuador, utilizando aceite automotriz usado como combustible alternativo y mantener la tasa de producción requerida, regularmente se tuvo que analizar y verificar las propiedades físicas del residuo, lo que permitió mantener el control y evaluar su potencial energético principalmente, así como su composición química para valorar concentraciones de

elementos químicos que pudieron afectar el medio ambiente, el proceso o la calidad del clinker.

El cuadro que se presenta a continuación muestra los valores de los parámetros de las características físicas y químicas que el aceite debe cumplir para ser utilizado como combustible en los hornos cementeros de UNACEM Ecuador y la frecuencia del monitoreo para control. Al aceite usado se le realizan estos análisis para, en base a sus resultados, tomar acciones acerca del tratamiento que deberá darse al lote recibido.

Tabla 42: Parámetros de calidad del aceite usado.

<b>PARAMETROS DE CALIDAD DEL ACEITE USADO</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Frecuencia de monitoreo</b>
Contenido de agua (max.)	% Vol	8%	Cada tanquero
Sólidos suspendidos (max.)	%	2%	
PCB (max.)	ppm	-	
Poder Calorífico (min.)	Kcal/Kg	8.800	Quincenal
Punto de inflamación	X		
Basuras y escombros	%	0%	
Densidad	X		
Viscosidad	X		
Cloro	ppm	X	
Azufre			
Flúor			
Metales			
VOC's			

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

El principal problema presentado en la utilización del residuo como combustible alternativo es la presencia de agua con que viene la mezcla. Hubo casos en que el agua superaba el 30% del volumen y sin embargo el análisis realizado en la descarga del tanquero no era mayor que el máximo establecido de agua (8%). Por esta razón se cambió el método, el procedimiento y la frecuencia del análisis y se incrementó un nuevo punto donde muestrear el combustible líquido antes de que entre en el quemador del horno.

Por esta razón fue absolutamente necesaria la instalación de un sistema deshidratador en línea del combustible. Este calentador de 20 galones por minuto, opera con resistencias

eléctricas que elevan la temperatura del combustible a 105°C y evaporan el agua presente que es retirada en forma de vapor.

El agua y el sedimento son las impurezas que generalmente se presentan en el aceite usado y el método utilizado para determinar el porcentaje de ambas en el combustible, es el realizado por centrifugación.

### **3.3.2.3. Porcentaje de utilización de aceite usado.**

La diversificación energética sirve para conseguir un mix de combustibles con menor riesgo de afectación a la operación del horno, menor costo económico y disminución de emisiones de gases al ambiente. En este sentido combinar combustibles tradicionales derivados del petróleo (HFO y Pet coke) con combustibles alternativos compuestos por residuos que, de otra manera estarían destinados a vertederos, es una opción respetuosa con el medio ambiente, mejora la eficiencia y competitividad de la planta industrial porque genera ahorro en los costes al usar combustibles más económicos.

UNACEM Ecuador tiene una Política de eficiencia energética y sustitución de combustibles fósiles por combustibles alternativos.

El tipo y porcentaje de combustible utilizados en los hornos viene dado por disposición de las máximas autoridades de la empresa. La Gerencia Técnica establece valores mínimos a lograr en el mix de combustible de cada horno para la operación anual de los mismos.

El mix presupuestado y el conseguido para el 2015 se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 43: Mix de combustibles.

<b>Mix de Combustibles</b>			
<b>Indicador</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Presupuesto 2015</b>	<b>Acumulado Real 2015</b>
Fuel Oil	%	39,8	41,2
Used Oil	%	18,0	19,7
PKS	%	12,7	11,7
Pet coke	%	29,5	27,4
Total	%	100,0	100,0

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

En cuanto al aceite usado, el promedio ponderado presupuestado para los dos hornos del porcentaje sustituido era del 18%, por los buenos resultados observados en la operación, este porcentaje llegó a ser del 19,7%.

### 3.3.2.3.1. Horno 1.

La gráfica nos muestra el mix y porcentaje de los combustibles usados en el horno 1 durante el 2015.

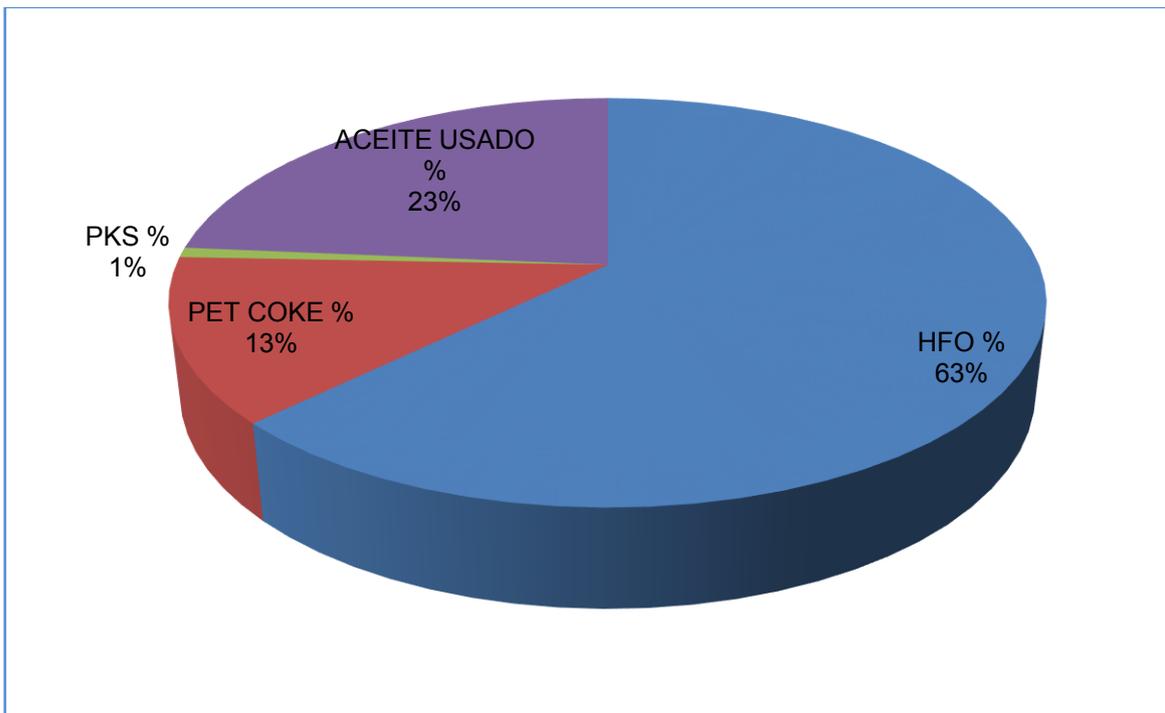


Figura 13: Mix de combustibles del horno 1.

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Se puede observar que el combustible principal sigue siendo el HFO con un 63%. El aceite usado ha reemplazado en un 23% al combustible líquido, siendo el segundo aporte más importante al mix en cuanto a energía calórica entregada.

El PKS (palm kernel shell) o cascarilla de la nuez de la palma Africana no supera el 1% con 630 toneladas anuales.

La gráfica siguiente nos presenta los porcentajes diarios de utilización del aceite usado en el mix de combustible en el Horno 1.

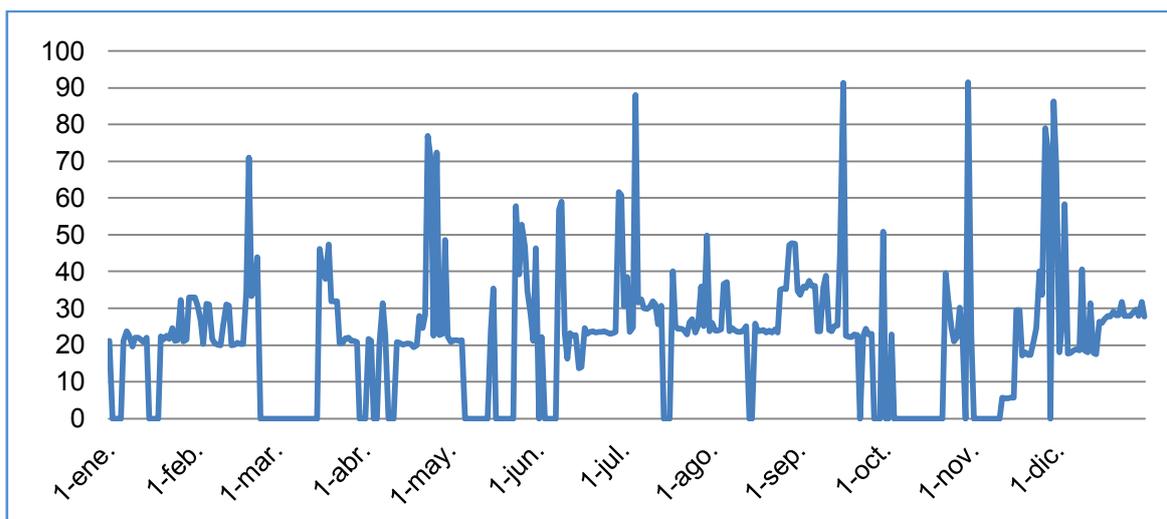


Figura 14: Porcentaje de aceite usado.

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

A pesar de que se había fijado un objetivo del 18% de sustitución de combustible líquido tradicional con aceite usado, el promedio anual fue del 23.6%. Se puede apreciar, inclusive, 19 días en que la sustitución fue mayor al 50%.

Hay 5 días en que el aceite usado fue utilizado como combustible principal en valores mayores al 70% y la medición de emisiones de polvo varía sin que se pueda apreciar una relación directa entre estos parámetros.

Tabla 44: Relación entre porcentajes altos (> 70%) de sustitución de aceite usado con el valor de las emisiones de polvo.

	<b>Porcentaje Aceite usado</b>	<b>Emisiones</b>
	%	mgr/m3
30-oct	91,6	34,4
16-sep	91,4	24,0
5-jul	88,0	108,8
29-nov	86,4	7,6
26-nov	79,1	31,4
23-abr	77,0	141,5
27-nov	73,1	53,4
26-abr	72,4	129,8
19-feb	71,0	79,0
24-abr	70,2	126,0

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

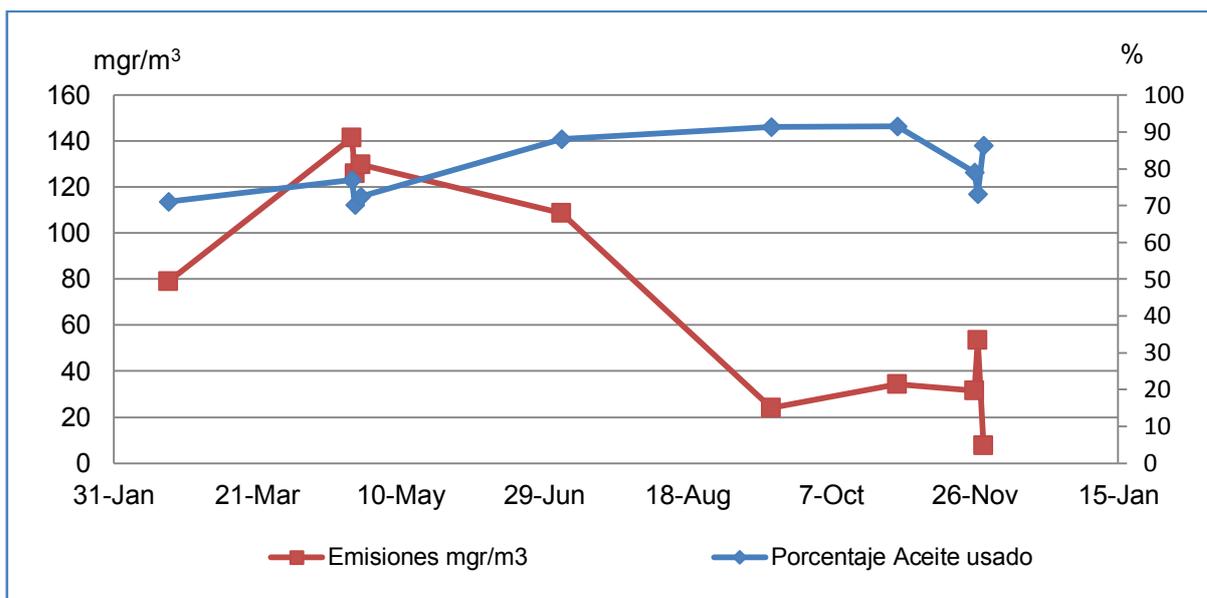


Figura 15: Relación entre porcentajes altos de uso de aceite con la cantidad de emisiones de polvo.

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

De igual manera, durante 12 días, la mayoría de los cuáles son del mes de noviembre, no se inyectó al horno aceite usado y no se puede encontrar un patrón regular relacionado en la cantidad de emisiones.

Tabla 45: Relación entre la ausencia de inyección de aceite usado con el valor de las emisiones de polvo.

	Porcentaje Aceite usado	Emisiones
	%	mgr/m <sup>3</sup>
29-oct	0,0	13,6
1-nov	0,0	55,0
2-nov	0,0	54,8
3-nov	0,0	55,9
4-nov	0,0	33,7
5-nov	0,0	56,7
6-nov	0,0	78,5
7-nov	0,0	92,9
8-nov	0,0	65,9
9-nov	0,0	52,6
10-nov	0,0	49,9
28-nov	0,0	14,7

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

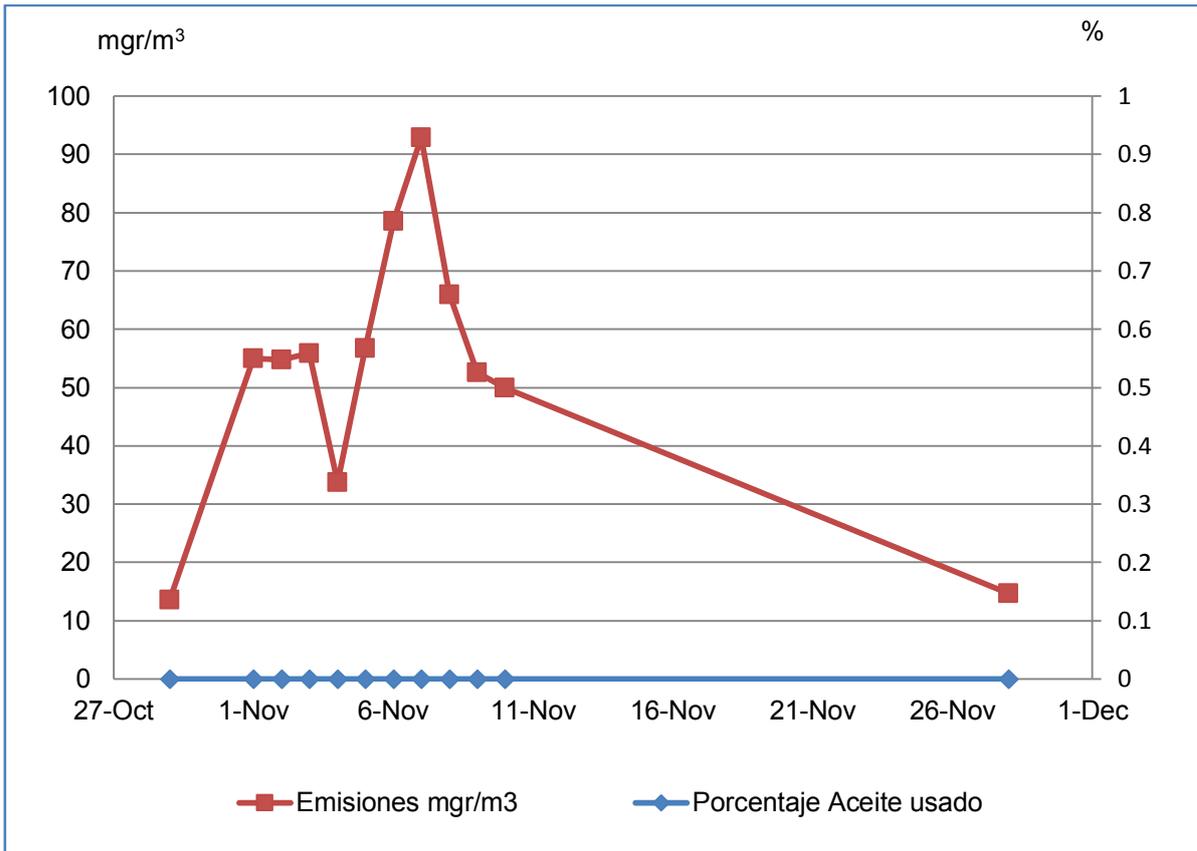


Figura 16: Cantidad de emisiones de polvo sin aceite usado.

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

En noviembre del 2015 se tuvo problemas con el suministro regular de aceite usado siendo la cantidad recibida menor a la demandada, por lo que se priorizó el uso del desecho en el Horno 2.

### 3.3.2.3.12 Horno 2.

La gráfica nos presenta los porcentajes diarios de utilización del aceite usado en el mix de combustible en el Horno 2.

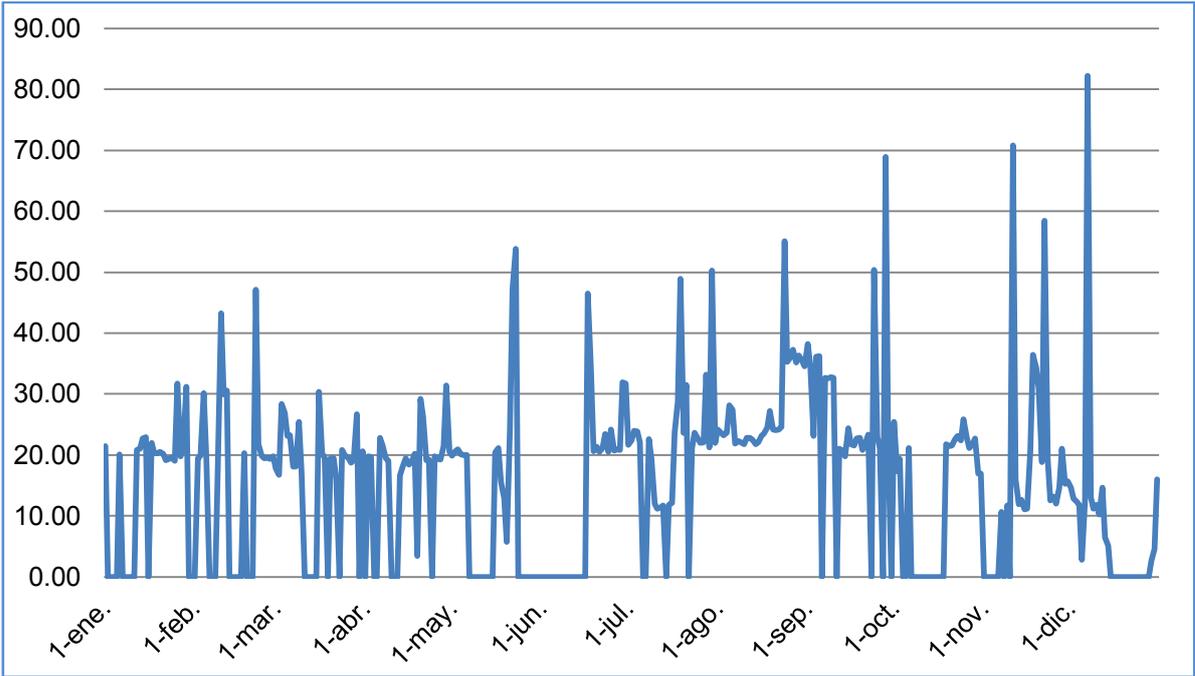


Figura 17: Porcentaje de aceite usado.

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

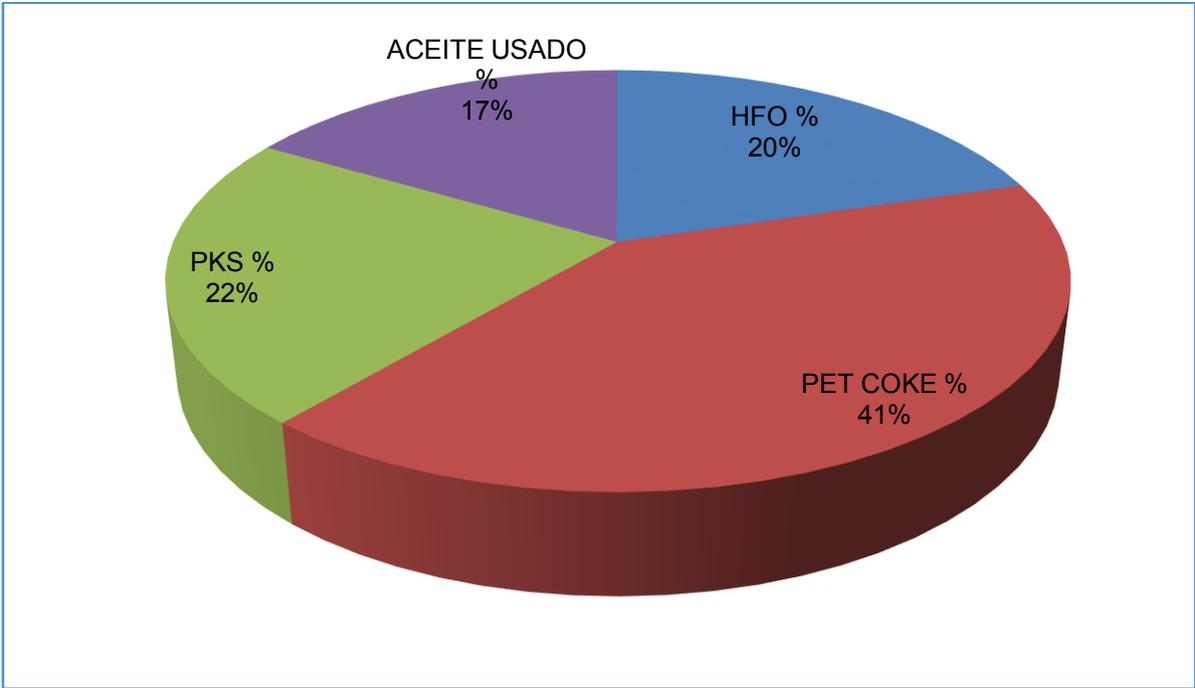


Figura 18: Distribución de los combustibles en el mix.

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

La Gráfica anterior nos muestra el porcentaje de los combustibles usados en el horno 2 durante el 2015.

La proporción de los combustibles inyectados a los hornos depende de la operación de los mismos y de la disponibilidad de aquellos en la Planta Industrial.

### **3.3.3. Determinación de la Factibilidad Técnica por medio de la Fiabilidad de los hornos.**

En UNACEM Ecuador, se lleva control de la fiabilidad diaria de los hornos cementeros y se distinguen tres formas diferentes de paros de los equipos que la pueden afectar, estos son:

- Paradas programadas, son los paros establecidos del equipo para realizar actividades que normalmente no se las puede realizar con el equipo en funcionamiento. Los trabajos durante este tiempo están dirigidos hacia el reemplazo de partes que ya han cumplido su vida útil y a la reparación de los elementos que, por la naturaleza de la industria, han sufrido desgaste. Estos paros no se toman en cuenta para el cálculo de la fiabilidad del equipo.
- Paradas circunstanciales, son los paros que se producen en el proceso pero que no han sido causados por un equipo perteneciente al mismo. Son circunstancias ajenas las que provocan la parada. Ejemplo de este tipo de paros son los cortes de energía externa a la Planta, silos llenos, falta de materias primas por cierre de vías, etc. Por su naturaleza “externa” no inciden en la fiabilidad.
- Paradas incidentales, este tipo de paros están relacionadas con los paros súbitos de los equipos como resultado de factores internos del propio proceso y son causado por fallos o mala operación de los mismos. Este tiempo en el cual el proceso o equipo no está funcionando se toma en cuenta para el cálculo de la fiabilidad del proceso.

Entonces, la fiabilidad de los hornos es el porcentaje del tiempo planificado de funcionamiento restado los paros programados y circunstanciales.

$$\% \text{ Fiabilidad} = (\text{Horas Corridas} - \text{Horas de Paro Programadas} - \text{Horas de Paros circunstanciales}) - \text{Horas de Paros Incidentales}.$$

Comparando la fiabilidad de los últimos 4 años podemos establecer si hubo una afectación en la operación de los hornos al implementarse la sustitución de aceite usado como combustible alterno.

La tabla mostrada a continuación nos sirve para comparar la fiabilidad del horno 1 durante los últimos 4 años.

Tabla 46: Fiabilidad del horno 1.

<b>Horno 1</b>					
Fiabilidad Anual (%)		<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
				94,91	96,49
Horas programadas de funcionamiento		8784,0	8760,0	8760,0	8760,0
Paros (horas)	Programados	206,8	645,9	619,3	1079,0
	Circunstanciales	605,2	75,6	74,0	280,0
	Incidentales	405,7	282,1	410,8	322,5

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Como se puede apreciar, de los años comparados, las menores fiabilidades anuales fueron las del 2012 y 2014.

Tabla 47: Fiabilidad del horno 2.

<b>Horno 2</b>					
Fiabilidad Anual (%)		<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
				97,20	97,85
Horas programadas de funcionamiento		8784,0	8760,0	8760,0	8760,0
Paros (horas)	Programados	151,0	244,2	737,1	924,7
	Circunstanciales	1107,1	39,4	48,5	156,3
	Incidentales	211,0	182,4	347,9	267,9

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

La fiabilidad del horno 2 en el año 2014 fue la menor de los últimos cuatro años. Recordar que se empezó a sustituir combustible tradicional con aceite usado desde Enero del 2015.

Por el análisis realizado con las fiabilidades anuales podemos deducir que la implementación del proyecto de inyección de aceite usado como reemplazo al combustible tradicional no ha tenido efectos que puedan producir paros incidentales en los hornos de clínker y que esto haya causado la disminución en las fiabilidades anuales de los procesos.

Los paros incidentales, en UNACEM Ecuador pueden tener su origen en tres campos:

- Eléctrico.
- Mecánico.
- Producción.

También podemos realizar un análisis con respecto al número y causas de los paros incidentales originados en Producción, a donde estarían imputados los posibles paros ocasionados por problemas derivados de la sustitución de HFO por aceite usado.

Tabla 48: Tipos de paros incidentales del Horno 1.

<b>Horno 1</b>					
		<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Paros Incidentales (horas)	Mecánico	143,97	44,08	167,35	32,95
	Eléctrico	29,35	10,5	115,8	54,83
	Producción	232,38	227,48	127,6	234,72
	TOTAL	405,7	282,06	410,75	322,5

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

La duración de los paros incidentales de producción no ha sufrido un incremento importante durante 2015, apenas cercano al 1% en comparación del 2012 y 2013.

Tabla 49: Tipos de paros incidentales del Horno 2.

<b>Horno 2</b>					
		<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Paros Incidentales (horas)	Mecánico	99,22	101,1	180,31	67,67
	Eléctrico	18,03	2,98	45,37	23,37
	Producción	93,7	78,35	122,22	176,86
	TOTAL	210,95	182,43	347,9	267,9

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Los datos proporcionados en la tabla anterior nos muestran que hubo un incremento importante en la duración de los paros incidentales de Producción. La media de los años 2012 al 2014 de 98.09 horas sube en el 2015 a 176.86 lo que representa un 55%.

Podemos indagar las causas aparentes que ocasionaron los paros de Producción y encontramos que:

Tabla 50: Síntesis de las causas aparentes de los paros incidentales de producción del Horno 1.

<b>Causas Aparentes de los Paros incidentales</b>		
<b>Designación</b>	<b>Horas</b>	<b>%</b>
Atasco del Ciclón 4	23,08	13,03
Atasco del Ciclón 5	56,75	32,04
Filtro de mangas	3,1	1,75
Horno	42,53	24,01
Enfriadora de clinker	35,23	19,89
Trituradora de clinker	7,57	4,27
Transportador de cangilones	8,86	5

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Son 122 horas que el horno 2 paró por posibles problemas causados por la inyección de aceite usado. Los atascos de los ciclones y del horno pudieron tener su origen en esto, pero también pueden ser resultado de otros factores (aumento del cloro, del azufre, exceso de temperatura, mala operación etc.). A pesar de eso, si imputáramos los atascos al reemplazo

del combustible no sería afectada la fiabilidad del horno mayormente, por lo que se puede deducir que es viable técnicamente mantener la sustitución de aceite usado.

### 3.3.4. Factibilidad Económica.

En el estudio de factibilidad económica se pretende definir, mediante comparación de costos, si la utilización de aceite usado como combustible alterno produjo un ahorro en la cantidad de dinero que habría que desembolsar por la compra de HFO causado por el reemplazo de este combustible por aceite usado.

El costo actual de la energía térmica corresponde al total de los combustibles tradicionales y alternativos utilizados en los hornos cementeros de la planta, incluyendo costos de preparación, manejo y transporte, por tonelada de clínker producida.

#### 3.3.4.1. Consumo anual total de combustibles.

La siguiente tabla nos muestra el consumo anual total de los tipos de combustibles que se utilizan en los dos hornos cementeros de UNACEM Ecuador y el porcentaje en el mix que representaron.

Tabla 51: Consumo anual de combustibles en los hornos cementeros de UNACEM Ecuador.

<b>Consumo de Combustibles (2015)</b>							
<b>HFO</b>		<b>PETCOKE</b>		<b>PKS GRUESO</b>		<b>ACEITE USADO</b>	
Consumo	Porcentaje	Consumo	Porcentaje	Consumo	Porcentaje	Consumo	Porcentaje
Gls	%	Ton	%	Ton	%	Gls	%
9.804.660	41,2	6.305	27,4	20.830	11,7	5.435.089	19,7

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

El cálculo se hizo con los siguientes costos de los combustibles, a Diciembre del 2015.

Tabla 52: Costo de los combustibles utilizados.

<b>Costo de los combustibles (USD)</b>				
<b>Combustible</b>		<b>Unidad</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Fuel Oil	Horno	gal	0,72	1,14
	Eléctrico	gal	0,48	0,5
Used Oil		gal	1,51	0,55
PKS		ton	40,50	45
Pet coke		ton	129,00	110

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

La tabla muestra, según datos recopilados en el reporte anual de Performance de UNACEM Ecuador, el costo de los combustibles que se utilizaron en los hornos.

#### **3.3.4.2. Cálculo de la energía térmica aportada por cada combustible.**

Para poder determinar el ahorro en el consumo de HFO al sustituirlo por aceite usado, tuvimos que encontrar un parámetro que relacione los combustibles sólidos y líquidos y nos dé una idea clara del costo real de cada combustible dependiendo únicamente del poder calorífico de cada uno.

La energía térmica (también energía calórica o energía calorífica) es la manifestación de la energía en forma de calor que puede entregar, en este caso, un combustible.

La energía térmica proporcionada por un cuerpo depende del poder calorífico del mismo y es la cantidad de energía que la unidad de masa puede desprender al producirse una reacción química de oxidación, está expresada en Kcal/Kg.

El poder calorífico de los combustibles utilizados en los hornos de UNACEM está expuesto en la siguiente tabla. El análisis para determinarlo se lo hace una vez por mes en el Laboratorio de la Planta Industrial y lo expresado es el promedio del 2015.

Tabla 53: Poder calórico de los combustibles.

<b>Poder Calórico de los Combustibles</b>	
<b>Combustible</b>	<b>Valor</b>
	<b>Kcal/Kg</b>
Fuel Oil	9617
Used Oil	8666
PKS	4371
Pet coke	7566

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Los combustibles deben estar expresados en unidades de masa (Kg), por lo que multiplicamos el volumen de los combustibles líquidos por su respectiva densidad. Para el crudo residual es de 0.92 Kg/L y para el aceite usado 0.88 Kg/L. Con estos datos podemos calcular el valor de cada unidad de masa de los combustibles y hacer una comparación.

Tabla 54: Precio comparativo de la tonelada de combustible.

<b>Precio comparativo de los combustibles</b>		
<b>Combustible</b>	<b>Precio</b>	
	<b>Galón</b>	<b>Tonelada</b>
Fuel Oil	1,15	327,8
Used Oil	0,55	165,3
PKS		45,0
Pet coke		110,0

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Como se puede apreciar la tonelada de Fuel Oil es la más cara de los combustibles utilizados, seguido de la de aceite usado. La más barata es la de biomasa (PKS).

Sin embargo estos valores todavía no sirven para hacer una comparación efectiva del costo con el que cada tipo de combustible incide en la fabricación del clínker. Para tener una visión exacta debemos tomar en cuenta que cada combustible aporta con más o menos energía térmica de acuerdo a su poder calórico.

Entonces usando la masa y el poder calórico podemos determinar el costo por cada unidad de energía térmica que los combustibles proporcionan.

Tabla 55: Cálculo del costo de la unidad de energía calórica de los combustibles.

<b>Cálculo del costo de la unidad de energía calórica</b>			
<b>Combustible</b>	<b>Precio</b>	<b>Poder calórico</b>	<b>Costo de energía calórica</b>
	<b>USD/Ton</b>	<b>Kcal/Kg</b>	<b>USD/GJ</b>
Fuel Oil	327,8	9617	8,15
Used Oil	165,3	8666	4,56
PKS	45,0	4371	2,46
Pet coke	110,0	7566	3,47

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Al final del año, se obtuvo los siguientes valores del costo de energía. Difiere porque el precio de los combustibles no es el mismo en todo el año y los poderes calóricos sufren variaciones debido a la composición de los combustibles.

Tabla 56: Costo de la energía calórica aportada por cada combustible.

<b>Costo de energía calórica aportada</b>		
Fuel Oil	Usd \$ /Gj	5,50
Used Oil	Usd \$ /Gj	3,90
PKS	Usd \$ /Gj	2,18
Pet coke	Usd \$ /Gj	3,96
Costo Total de combustible	Usd \$ /Gj	4,38

Fuente: UNACEM Ecuador.  
Elaborado: EL AUTOR.

Se aprecia que el precio del GigaJulio de aceite usado es menor al del Fuel Oil lo que se expresa en un ahorro de 1.6 USD por cada unidad de energía térmica.

### **3.4. Interpretación de resultados.**

#### **3.4.1. Gestión del desecho peligroso.**

El consumo de aceite automotriz usado en los hornos cementeros de UNACEM Ecuador ha gestionado adecuadamente la disposición final de alrededor de 5.5 millones de galones que de otro modo pudieron ser vertidos sin control o, probablemente, se quemarían sin un adecuado control de las emisiones gaseosas.

Para tener una referencia, a continuación, la tabla nos presenta el consumo anual de combustibles en los dos hornos cementeros.

#### **3.4.2. Factibilidad económica.**

La factibilidad económica del proyecto se puede demostrar con el ahorro producido por el uso del desecho peligroso en lugar del combustible tradicional fósil (crudo residual). Se consumieron alrededor de 5.5 millones de galones de aceite usado, lo que significa un aporte de 656.834 GigaJulios de energía térmica. Esto representa 1'050.934 dólares de ahorro.

#### **3.4.3. Factibilidad técnica.**

La Operación de los hornos no se vio afectada por la sustitución de aceite usado en lugar del crudo residual en el mix de combustibles. Desde el 2012 hasta el 2014, la fiabilidad del Horno 1 era en promedio 95.43% y la del Horno 2 de 96.89%. Estos valores comparados con los obtenidos en el año 2015 en que se iniciaron las pruebas de inclusión de aceite usado, no difieren mucho.

Así, para el Horno 1, la fiabilidad 2012 – 2014 fue de 95.4% y en el 2015 fue de 95.6%. Mientras que para el Horno 2, la acumulada fue de 96.9% y en el 2015 fue de 96.5%.

#### **3.4.2. Factibilidad legal ambiental.**

Las emisiones gaseosas y de material particulado obtenidas en el programa de pruebas para el Coprocesamiento de aceites usados como combustible alternativo (AFR), en los hornos de UNACEM Cementos durante el 2015, están por debajo de todos los límites

máximos permisibles de emisión a la atmósfera, Tabla 2 del Acuerdo Ministerial No. 048 “Norma técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en hornos cementeros” y no representan riesgos para el ambiente ni para la salud de las personas.

Respecto a su comparación con la línea base, se puede apreciar que no hay variaciones significativas en ninguno de los parámetros. Los VOCs se mantienen bajo lo que establece la normativa de coprocesamiento, porque prácticamente no sufren ninguna variación y la regulación establece un valor máximo de 20 sobre la línea base de medición con combustible fósil.

Los metales pesados no sufren incremento respecto a los obtenidos en la línea base y sus valores son tan pequeños que se encuentran muy por debajo del nivel máximo establecido en la normativa, esto demuestra que los metales pesados quedan retenidos en la matriz cristalina del clínker. De igual manera los valores de la presencia de metales pesados volátiles como el mercurio y talio, son mínimos y no alcanzan los límites establecidos, demostrando la eficiencia en la destrucción de los mismos y el control de elementos con altos contenidos de estos elementos.

Por último, las dioxinas y furanos se encuentran bajo de los límites establecidos, demostrando el 100% de la eficiencia de su destrucción por el proceso en los hornos de UNACEM Ecuador, las altas temperaturas de combustión y los altos tiempos de residencia logran estos resultados..

El Óxido de nitrógeno tiene valores particularmente altos en los diferentes monitoreos realizados, pero siempre dentro de los límites permisibles. Las emisiones de NOX se encuentran asociadas al propio proceso de combustión de los hornos cementeros, y está ligada en forma mayoritaria a los combustibles fósiles tradicionales usados en el proceso de clinkerización (crudo residual y Petcoke) además del porcentaje emitido por la quema de PKS y los porcentajes contenidos en la combustión de la materia prima.

En el caso de HCl las sus concentraciones están muy por debajo de niveles máximos establecidos en la norma de coprocesamiento.

El calor de concentración del Benceno se encuentra dentro de los límites máximos señalados por la norma de referencia para coprocesamiento de residuos peligrosos.

Para los VOC's las concentraciones están muy por debajo de niveles máximos establecidos en la norma técnica. Para este parámetro en particular se deberá vigilar la entrada al sistema de materiales peligrosos con elevados índices de compuestos organoclorados, mediante los respectivos análisis de los desechos a coprocesar.

Con los resultados obtenidos no se requiere o no es necesaria la instalación de equipos de captación o contención de compuestos orgánicos volátiles.

Las concentraciones de metales pesados y dioxinas y furanos no constituyen emisiones de relevancia.

## **CAPÍTULO 4**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

- Del presente trabajo investigativo relacionado con las emisiones gaseosas producidas por las operaciones de los hornos cementeros de UACEM Ecuador S.A que utilizan en coprocesamiento, aceite lubricante automotriz usado como combustible alternativo, se puede concluir lo siguiente:
- El coprocesamiento de desechos en hornos de cemento adecuadamente regulados proporciona energía y permite la recuperación de materiales mientras se produce el cemento, de manera que supone una opción de recuperación ambientalmente racional del aceite usado.
- El aceite automotriz usado es técnicamente viable para ser co-procesado en hornos cementeros, dadas sus características físico-químicas, en especial su alto poder calorífico.
- El aprovechamiento del aceite residual como combustible alterno en hornos cementeros se encuentra dentro del marco legal aplicable según la legislación ecuatoriana.
- Teniendo en cuenta estudios previos en relación a los beneficios del co-procesamiento, las condiciones de combustión de los hornos cementeros permiten neutralizar los residuos peligrosos.
- Se logró un ahorro de un millón de dólares al sustituir crudo residual por aceite usado, esto debido a la diferencia en el precio del combustible alternativo.
- UNACEM Ecuador ha dispuesto adecuadamente de 5'435.089 galones de aceite usado.
- El coprocesamiento de desechos peligrosos no conduce a un incremento significativo de las emisiones gaseosas, de metales pesados y de polvo emitido a través de las chimeneas de los hornos.
- Las emisiones netas por unidad de combustible quemado son las mismas sin importar el grado de dilución de la mezcla de combustibles.
- Los valores obtenidos en el monitoreo de emisiones gaseosas causadas por la combustión demuestran que la composición de los gases emitidos a la atmósfera cuando se

coprocesa aceite usado en el horno cementero, no difieren significativamente de los que se detectan cuando se utiliza solo residuo industrial.

- La cantidad de material particulado que se emite a la atmósfera a través de las chimeneas de los hornos depende del tipo de proceso y específicamente del sistema de captación de polvo, más no del mix de combustibles que se utiliza.
- Las emisiones de compuestos orgánicos en las chimeneas de los hornos de clínker no cambian por la utilización de residuos peligrosos en sustitución de los combustibles habituales; las características de emisión dependen más de las variables de operación de la planta que de los combustibles empleados.
- Como resultado de las pruebas para encontrar el punto óptimo de la mezcla residuo industrial-aceite usado se ha determinado que no existen diferencias significativas entre las mezclas utilizadas, debido a que cualquiera que se utilice es factible, o producirá resultados similares en el proceso de combustión en los hornos.
- El porcentaje de sustitución del combustible por aceite usado depende exclusivamente de la disponibilidad de este en la Planta Industrial. En la actualidad no existe oferta suficiente para mantener una estabilidad en el consumo.
- La cantidad de agua presente en el aceite causa graves problemas operacionales en los hornos cementeros debido a la pérdida de la energía térmica entregada por el combustible alternativo.
- Teniendo en cuenta el costo de adquisición del residuo y el costo del flete desde los sitios de acopio hasta las instalaciones de la planta industrial de UNACEM Ecuador y comparándolo con el costo del HFO; el coprocesamiento del aceite genera un beneficio económico para la industria cementera como sustituto del combustible tradicional.
- La estructura de costos que se maneja actualmente muestra que operativamente el manejo de aceite usado desde la recolección hasta la disposición final en un horno cementero, es rentable.
- La valorización energética de aceites usados en hornos cementeros no conlleva una modificación importante en los procesos ya determinados, únicamente se propone sustituir una cantidad importante de combustibles fósiles por aceites usados.

- La valorización energética reducirá el volumen de aceite usado que llegue a los vertederos evitando la aparición de focos de contaminación del suelo y agua.
- De la revisión de las matrices de valoración de la severidad de los impactos nos lleva a concluir que el proyecto es ambientalmente viable; sin embargo, debe considerarse que todas estas actividades deben realizarse dentro de un marco adecuado de cumplimiento ambiental, siguiendo cada uno de los programas planteados en el Plan de Manejo Ambiental, con el objetivo de controlar y minimizar dichos impactos.

## RECOMENDACIONES

- El Estado Ecuatoriano debe establecer limitaciones y prohibiciones al vertido de residuos peligrosos con alto poder calorífico. Esto traerá como consecuencia un incremento de los porcentajes de reciclado, así como un incremento muy significativo de los residuos valorizados por parte de la industria cementera.
- En Ecuador el tema de coprocesamiento de aceites usados no se encuentra desarrollado, es reciente la creación de acuerdos ministeriales que propugnan esta práctica ambiental. Las políticas a nivel de ministerios no están articuladas a la gestión de integral de residuos peligrosos.
- Disminuir el empleo de combustibles fósiles, en favor del uso de combustibles alternos.
- Los Gobiernos Autónomos Descentralizados deben facilitar el desarrollo de proyectos de co-procesamiento de otros desechos peligrosos y no peligrosos tales como Residuos Sólidos Urbanos.
- Contar con el volumen necesario de aceite automotriz usado para su utilización en la alternativa de valorización propuesta es preponderante; si la tendencia en el consumo de aceites se mantiene dadas las características del mercado automotor ecuatoriano se debe mejorar la captación de un volumen importante de lubricante que tiene un destino desconocido.
- La implementación de la alternativa propuesta se concreta en la medida que la demanda de combustible alternativo tenga un mercado que lo requiera y que la oferta presente características adecuadas para los procesos. Lo positivo es que el rediseño de los procesos para la reducción del consumo de materias primas, energía y emisiones, es parte de la política ambiental de la empresa cementera.
- Implementación de proyectos que permitan la utilización de otros residuos urbanos como combustible alternativo disminuyendo de esta manera el impacto generado por estos en la Gestión de Residuos.
- Analizar la utilización de materias primas catalogadas como residuos provenientes de otro tipo de industrias.

- Asegurar que las emisiones a la atmosfera continúen dentro de los límites nacionales e inclusive internacionales o menos, mediante el uso de tecnologías de punta.
- Obtener un combustible que cumpla con los requerimientos técnicos y las características físicas y químicas y/o costo que igualen al menos los valores de productividad y calidad en la planta industrial que ofrece el HFO.
- Mantener una información confiable en línea de las emisiones que se emiten a la atmosfera, a fin de que con dicha información sea utilizada en el proceso productivo para que este sea más eficiente y además que sea ambientalmente seguro.
- Establecer una mejora continua en todos los procesos, de acuerdo con el Sistema Integrado de Gestión ISO 9001 e ISO 14001.
- Reducir las pérdidas de energía en el proceso productivo.
- Asegurar por parte de la compañía cementera, los requerimientos y el control de la calidad del residuo utilizado. La cantidad de agua presente en el aceite usado es un factor a tomar muy en cuenta debido a los problemas operacionales que causa en los hornos.
- A pesar de que se reciben tanqueros con hasta 10% de agua en el aceite, es necesario eliminarla de alguna manera antes de que entren el quemador. Para eso es necesario que se habilite un separador eléctrico de 20 galones por minuto que existe en el sitio.
- En la línea 1 es necesario reemplazar el electrofiltro o precipitador electrostático por un filtro de mangas más eficiente para disminuir las emisiones de material particulado al ambiente.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2003). *Manual de Normas y Procedimientos para la Gestión de Aceites Usados* (p. 3). Bogotá: DAMA. Obtenido de [http://ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=91cbcbbbb-209f-4c10-8e2e-5479f9ea1a08&groupId=10157](http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=91cbcbbbb-209f-4c10-8e2e-5479f9ea1a08&groupId=10157).
- Anónimo. *Hornos de cemento que incineran desechos peligrosos*. Archivo PDF.
- Cajas A., D. (2006). *Estudio de Factibilidad para el Co-procesamiento de las Aguas de Sentina en Plantas Cementeras* (Tesis de Ingeniería). Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Cedano, D.C. (2012). *Valorización energética de residuos como combustibles alternativos en plantas cementeras* (Tesis de Mestría). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia. (2001). *Posibilidades de reciclaje y aprovechamiento de los aceites usados* (p. 43). Barcelona. Obtenido de [http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiTpeuFp9XOAhWD1B4KHc2sDfgQFggeMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cprac.org%2Fdocs%2Folis\\_cast.pdf&usq=AFQjCNG1ezS7foCqloTM-LXlsp51c5vyPA](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiTpeuFp9XOAhWD1B4KHc2sDfgQFggeMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cprac.org%2Fdocs%2Folis_cast.pdf&usq=AFQjCNG1ezS7foCqloTM-LXlsp51c5vyPA)
- Concreto Online (2015). *Niveles actuales de emisiones y consumo de energía y materias primas*. <http://www.concretonline.com/>. Obtenido el 5 Abril 2016, desde [http://www.concretonline.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=739&Itemid=35](http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&task=view&id=739&Itemid=35)
- Convenio de Basilea,. (2014). *Sobre el control de los movimientos transfronterizados de los desechos peligrosos y su eliminación*. Archivo PDF, Cotacachi.
- Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y Producción limpia., (n.d.). *Estimación de Ahorros de Combustible y Mitigación Ambiental por el Aumento de la Eficiencia en los Procesos de Combustión en la Industria del Cemento en Colombia*. Bogotá.

Club Español de Residuos. (2001). *Contribución de la industria del cemento a la gestión de residuos en Europa* (1st ed., pp. 12 - 37). Grupo Hisalba. Obtenido de [http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj53OXVwY7MAhVGWx4KHVgNBEgQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.istas.coo.es%2Fdescargas%2Fcemen7.pdf&usg=AFQjCNH7hRI6\\_NoOdEVXXhE8ot\\_88h14PQ](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj53OXVwY7MAhVGWx4KHVgNBEgQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.istas.coo.es%2Fdescargas%2Fcemen7.pdf&usg=AFQjCNH7hRI6_NoOdEVXXhE8ot_88h14PQ)

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). (2007). *Co-Procesamiento, una oportunidad* (p. 25). Santiago. Obtenido de [http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj1sa2AgI\\_MAhWKXB4KHXFACloQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.coprochem.org%2FGuidelines%2Flocal-adapted-guidelines%2FGuiaCo-procesamiento.pdf%2Fat\\_download%2Ffile&usg=AFQjCNFKjSjjKUqNnwUK0YfoJDB3wmm0KA](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj1sa2AgI_MAhWKXB4KHXFACloQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.coprochem.org%2FGuidelines%2Flocal-adapted-guidelines%2FGuiaCo-procesamiento.pdf%2Fat_download%2Ffile&usg=AFQjCNFKjSjjKUqNnwUK0YfoJDB3wmm0KA)

EIPPCB (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau). 2010. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide* (mayo de 2013). Comisión Europea, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies. Sevilla. Obtenido de [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/CLM\\_30042013\\_DEF.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/CLM_30042013_DEF.pdf)

Environmental Protection Agency (1980). *Hazardous Waste Management System*, Part III, Identification and Listing of Hazardous Waste, Federal Register, 45 (98): 40CFR Part. 261, Monday, May 19, 1980.

Federación Interamericana de Cemento. (2013). *Informe Estadístico* (pp. 39 - 48). Bogotá: Federación Interamericana de Cemento. Obtenido de <http://www.ficem.org/estadisticas/informe-estadistico.html>

Fundación Laboral del Cemento y Medio Ambiente. (s.f). *Valorización Energética de Residuos en la Industria Cementera Española* (pp. 10 - 23). Madrid: Fundación CEMA. Obtenido de [http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwib\\_rLSrdXOAhWMPCYKHSVsAosQFggqMAI&url=http%3A%2F%2Fwww.fenercom.com%2Fpages%2Fpdf%2Fformacion%2F13-03-2013\\_Aprovechamiento%2520residuos%2F06-Valorizacion-energetica-de-los-](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwib_rLSrdXOAhWMPCYKHSVsAosQFggqMAI&url=http%3A%2F%2Fwww.fenercom.com%2Fpages%2Fpdf%2Fformacion%2F13-03-2013_Aprovechamiento%2520residuos%2F06-Valorizacion-energetica-de-los-)

[residuos-en-la-industria-cementera-espanola-CEMA-fenercom-2013&usq=AFQjCNGPpWzV2xR95Q6hwQg2xoUm6CCDHg](http://www.google.com/search?q=residuos-en-la-industria-cementera-espanola-CEMA-fenercom-2013&usq=AFQjCNGPpWzV2xR95Q6hwQg2xoUm6CCDHg)

Generalitat Valenciana, C. (2016). *Aceites industriales pesados* (1st ed., pp. 1 - 50). Valencia - España. Obtenido de

<http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjOwOfkvIzMAhUEKCYKHTBSCiAQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.citma.gva.es%2Fdocuments%2F20549779%2F161513659%2F07.%2BAceites%2Bindustriales%2Busados%2F9282c44a-b4e0-4ccc-a73f-e294c1547d15%3Bjsessionid%3DB653453B47B1939118A87A6C244F8D45.node1&usq=AFQjCNEpzDfBR-OOgliTKPAwsgOdrBmmeA>

Guerra I., G. (2008). *La Emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI) durante el desarrollo de operaciones de explotación de hidrocarburos* (Tesis de Maestría). Instituto de Altos Estudios Nacionales.

Holcim, & GTZ. (2006). *Guía para el Co-Procesamiento de Residuos en la Producción de Cemento* (1st ed., pp. 11 - 33). Offenbach: ROHLAND&more Mediengesellschaft mbH. Obtenido de

[http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiH7Mmg847MAhUHFR4KHdcmD1AQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.coprocem.org%2FGuidelines%2Fspanish%2Fguia-para-el-coprocemesp\\_reducida.pdf%2Fat\\_download%2Ffile&usq=AFQjCNF4-8dr\\_I\\_FN1V-2zOe30qhoGUJuA](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiH7Mmg847MAhUHFR4KHdcmD1AQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.coprocem.org%2FGuidelines%2Fspanish%2Fguia-para-el-coprocemesp_reducida.pdf%2Fat_download%2Ffile&usq=AFQjCNF4-8dr_I_FN1V-2zOe30qhoGUJuA)

Instituto para la Sostenibilidad de los Recursos (ISR),. *La sustitución de combustibles en el sector cementero. Oportunidad para reducir el vertido de residuos* (pp. 15 - 23, 37 - 45). Madrid: Fundación Laboral del Cemento y el Medio Ambiente. Obtenido de [http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjJmNKksdXOAhWLWx4KHXCmBHoQFggeMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fundacioncema.org%2Fshow\\_doc.asp%3Fid\\_doc%3D187&usq=AFQjCNH17xnhZTytgIjRln1Ebg67hYY9TQ](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjJmNKksdXOAhWLWx4KHXCmBHoQFggeMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fundacioncema.org%2Fshow_doc.asp%3Fid_doc%3D187&usq=AFQjCNH17xnhZTytgIjRln1Ebg67hYY9TQ)

Jiménez Díaz, A. (2012). Incrementan recogida de aceites usados para su quema en industria cementera. *El Espirituano*. Obtenido de

<http://alainjd.blogia.com/2012/033102-incrementan-recogida-de-aceites-usados-para-su-quema-en-industria-cementera.php>

Kare Helge, K. (2004). *Formation and release of POP's in the Cement Industry*. (pp. 1301 - 1304). Oslo: SINTEF.

Laboratorio de Análisis de Contaminantes Persistentes. *Contaminantes persistentes*. <http://ingenieria.udea.edu.co>. Obtenido el 13 Marzo del 2015, de [http://ingenieria.udea.edu.co/lacops/ContPersist\\_Dioxinas.htm](http://ingenieria.udea.edu.co/lacops/ContPersist_Dioxinas.htm)

Lafarge Cementos. (2014). *Programa de prueba de aire de emisiones*. Archivo PDF, Otavalo.

Lafarge Cemento,. (2016). *Estudio de Impacto Ambiental para el coprocesamiento de desechos peligrosos en la planta de procesamiento de Cementos Lafarge*. Archivo Word, Otavalo.

Mutz, D. y Nandan V. (2014). *Co processing waste materials in cement production: experience from the past and future perspectives* pags. 1 - 10. Obtenido de <http://www.igep.in/live/hrdpmp/hrdpmaster/igep/content/e54413/e54441/e61172/e61176/coprocessingwastematerialincementproduction-experiencesfromthepastandfutureperspectives.pdf>

Martínez, J., Mallo, M., Lucas, R., Alvarez, J., Salvarrey, A., & Gristo, P. (2005). *Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Fundamentos, Tomo I* (1st ed., pp. 45 - 73). Montevideo: Centro Coordinador de Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe. Obtenido de [http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiPreWJ-Y7MAhXIFh4KHQw3BEsQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ccbasilea-crestocolmo.org.uy%2Fwp-content%2Fuploads%2F2010%2F11%2Fgestion\\_r01\\_fundamentos.pdf&usg=AFQjCNGtD8F8UQvOhvbzzupwSoy-0jpC0Q](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiPreWJ-Y7MAhXIFh4KHQw3BEsQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ccbasilea-crestocolmo.org.uy%2Fwp-content%2Fuploads%2F2010%2F11%2Fgestion_r01_fundamentos.pdf&usg=AFQjCNGtD8F8UQvOhvbzzupwSoy-0jpC0Q)

Martínez, J., Mallo, M., Lucas, R., Alvarez, J., Salvarrey, A., & Gristo, P. (2005). *Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Fundamentos, Tomo II* (1st ed., pp. 45 - 73). Montevideo: Centro Coordinador de Convenio de Basilea para América Latina y

el Caribe. Obtenido de [http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKewib38iZ-Y7MAhVI2R4KHRQ6DZYQFggcMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.ccbasilea-crestocolmo.org.uy%2Fwp-content%2Fuploads%2F2010%2F11%2Fgestion\\_r02-fichas\\_tematicas.pdf&usg=AFQjCNHyoVr\\_AKaVcs5q2EOqQNICSsgf0A](http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKewib38iZ-Y7MAhVI2R4KHRQ6DZYQFggcMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.ccbasilea-crestocolmo.org.uy%2Fwp-content%2Fuploads%2F2010%2F11%2Fgestion_r02-fichas_tematicas.pdf&usg=AFQjCNHyoVr_AKaVcs5q2EOqQNICSsgf0A)

Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia, (2001). *Transformación de los aceites usados para su utilización como energéticos en procesos de combustión* (pp. 2 - 14). Bogotá D.C.

Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia. (2006). *Manual Técnico para el Manejo de Aceites Lubricantes Usados*. Obtenido de [www. Minambiente.gov.co](http://www.Minambiente.gov.co). Bogotá D.C.

Ministerio del Ambiente Ecuatoriano, MAE. (2012). *Estudio de potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador*. (pp. 317 – 330). Archivo PDF.

Ministerio del Ambiente de la República del Ecuador,. *Norma de Calidad del Aire Ambiente. Libro VI, Anexo 4* (pp. 1 - 14). Quito.

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). *Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión*. (pp. 371 - 401). Quito.

Molina, G. (2016). *Estudio de viabilidad del uso de residuos aceitosos como combustible alterno de un horno cementero* (Tesis de Maestría). Universidad ICESI.

Montaño A., M. (2004). *Inventario preliminar de emisiones de dioxinas y furanos (D&F) en el Ecuador* (pp. 11 - 113). Quito: Instituto de Ciencias Químicas de la ESPOL. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/19281>

Monterroso J., A. (2012). *Definición de las características de aceites lubricantes usados para que puedan utilizarse en un proceso de valorización energética, como método para*

*su eliminación en busca de minimizar la contaminación ambiental* (Tesis de Ingeniería). Universidad San Carlos de Guatemala.

OPS/OMS (2002). *Análisis sectorial de Residuos sólidos: Ecuador* (Ed.) Washington, D.C.: OPS

Pastrana G., R. (2016). Tecnología de Concreto. <http://tecnopkmas.blogspot.com>.

Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA),. (2011). *Directrices técnicas sobre el coprocesamiento ambientalmente racional de los desechos peligrosos en hornos de cemento* (pp. 3 - 57). Cartagena. Obtenido de <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiLg9ey1I7MAhUHmh4KHxUmCgMQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.basel.int%2FPortals%2F4%2FBasel%2520Convention%2Fdocs%2Fpub%2Ftechguid%2Fcement%2F06a3r1s.pdf&usg=AFQjCNEtQdoHUdVKI8KEx8LeMMtjoaGM7g>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (1989). *Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación*. 22 de marzo de 1989. Obtenido de <http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-s.pdf>

Congreso de Colombia,. (2005). *Proyecto de Ley: Por la cual se establece las condiciones de disposición final segura de los aceites lubricantes usados, de los aceites industriales usados y de los aceites de fritura usados en el territorio nacional y se prohíbe la combustión de los mismos o su reutilización parcial o total sin tratamiento de transformación* (pp. 21 - 27). Bogotá.

Recuperar residuos en cementeras.org. (2014). *Beneficios de la utilización de residuos en plantas cementeras. Recuperaresiduosencementeras.org*. Obtenido el 26 Noviembre 2014, de [http://www.recuperaresiduosencementeras.org/reportaje.asp?id\\_rep=74](http://www.recuperaresiduosencementeras.org/reportaje.asp?id_rep=74)

Registro Oficial del Gobierno del Ecuador,. (2012). *Acuerdo Ministerial No. 142 sobre los "Listados Nacionales de Sustancias Químicas Peligrosas, Desechos Peligrosos y Especiales* (pp. 21 - 22). Quito: Editora Nacional.

- Registro Oficial del Gobierno del Ecuador,. (2011). *Acuerdo Ministerial No. 048, Norma Técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en hornos cementeros.* (pp. 1 - 14). Editora Nacional.
- Registro Oficial del Gobierno del Ecuador,. (2008). *Acuerdo N° 026. Procedimientos para Registro de generadores de desechos peligrosos, gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental, y para el transporte de materiales peligrosos.* (pp. 1 - 107). Quito: Editora Nacional.
- Registro Oficial del Gobierno del Ecuador. (2015). *Acuerdo MInisterial No. 028. Sustitúyese el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria* (pp. 1 - 220). Quito: Editora Nacional.
- Registro Oficial del Gobierno del Ecuador. (2015). *Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria* (pp. 1 - 80). Quito: Editora Nacional.
- Rodrigo, M. (2016). Situación de la valoración energética de residuos. *Guía De Valorización Energética De Residuos*, (1), 11 - 25. Obtenido desde <http://www.madrid.org>
- Ruiz L., M. (2007). *Determinación y evaluación de las emisiones de dioxinas y furanos en la producción de cemento en España* (Tesis de Doctorado). Universidad Complutense de Madrid.
- Sacoto R., C. (2009). *Coprocesamiento de aceites usados en el horno rotatorio de Cementos Guapán* (Tesis de Maestría). Universidad de Cuenca.
- Serviresiduos S.A. (2013). *Borrador del Estudio de Impacto Ambiental Ex-post, para la Recolección, Transporte, Almacenamiento, Procesamiento y Disposición final de Aceites Usados, Aguas de Sentina y Desechos de Hidrocarburos.* (pp. 59 - 76). Guayaquil. Archivo PDF.
- Serrano D., C. (2012). *Levantamiento de información del uso de aceites usados como combustible en actividades artesanales e industriales y actualización del manejo de aceites usados en lubricadoras y talleres mecánicos.* Archivo PDF, Guayaquil.

- Simon-Vermot, B. (2010). *Modelo para el Manejo de los Residuos Sólidos generados por el recinto Chiriboga y sus alrededores* (Tesis de Ingeniería). Universidad Internacional SEK.
- Szabó, L., Hidalgo, I., Císcar, J.C., Soria, A. and Russ P. 2003. *Energy consumption and CO2 emissions from the world cement industry*. Report EUR 20769 EN. Institute for Prospective Technological Studies, Joint Research Center, Comisión Europea. Obtenido de <http://ftp.jrc.es/EURdoc/eur20769en.pdf>
- UNACEM Ecuador, (2011). *Reportes de Producción 2011 al 2015*. Archivos Excel, Otavalo.
- UNACEM Ecuador, (2016). *Informe de Emisiones Noviembre 2015* (pp. 1 - 8). Otavalo.
- UNACEM Ecuador S.A. (2016). Programa de prueba de aire de Emisiones (p. 40). Otavalo.
- Universidad Central del Ecuador. *Manejo Ambientalmente adecuado de los desechos aceitosos en el Ecuador* (pp. 15 - 17). Quito: Universidad Central.
- Vargas T., F. (2014). *Alternativa de valorización y aprovechamiento energético y material por coprocesamiento de residuos sólidos municipales en una planta productora de cemento en la provincia de Guantán - Santander como contribución a la solución del problema regional de su gestión*. (Título de Maestría). Pontificia Universidad Javeriana.

## ANEXOS

### Anexo 1.

La tabla 59 presenta los valores promedios diarios de las emisiones de material particulado en el horno 1, el tipo y cantidad de combustible usado para una producción de clínker dada.

Tabla 57: Horno 1 Diario

	HORNO 1 DIARIO									
	CLINKE R	HFO		PETCOKE		PKS TRITURADO		ACEITE USADO		Emisiones
	Clinker Produci do	Consumo en galones	Porcentaje	Consumo	Porcentaje	Consumo	Porcentaje	Aceite Usado	Porcentaje	
	ton	GLS	%	Ton	%	Ton	%	GLS	%	mgr/m3
1-ene	1553	31308	78,7	0,2	0,1	0,0	0,0	10000	21,2	55,0
2-ene	1556	41959	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	55,0
3-ene	1576	41746	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	47,0
4-ene	1576	41714	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	46,3
5-ene	1592	41583	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	51,0
6-ene	1568	28255	70,9	14,4	8,0	0,0	0,0	10000	21,1	46,0
7-ene	1324	23129	65,4	17,1	10,7	0,0	0,0	10000	23,8	84,0
8-ene	1474	25665	68,5	15,3	9,1	0,0	0,0	10000	22,4	47,0
9-ene	1522	30941	80,3	0,0	0,0	0,0	0,0	9000	19,7	50,0
10-ene	1494	25997	68,1	17,0	9,9	0,0	0,0	10000	22,0	56,0
11-ene	1532	29755	78,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	22,0	49,0
12-ene	1500	30699	78,5	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,5	51,7
13-ene	1593	31962	79,2	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,8	48,0
14-ene	1532	29679	77,9	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	22,1	62,1
15-ene	198	5669	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	119,8
16-ene	0	2367	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	92,0
17-ene	650	25919	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	96,0
18-ene	1533	39828	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	50,0
19-ene	1467	29136	77,6	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	22,4	53,0
20-ene	1597	30756	78,5	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,5	49,0
21-ene	1526	28950	77,5	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	22,5	95,4
22-ene	1619	30574	78,4	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,6	66,0
23-ene	1352	25776	75,4	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	24,6	65,0
24-ene	1624	31226	78,8	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,2	55,0
25-ene	1641	31126	78,7	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,3	43,0
26-ene	1647	26424	67,7	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	32,3	51,0
27-ene	1617	31661	79,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,0	61,0
28-ene	1548	30612	78,4	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,6	52,0
29-ene	1562	25730	67,1	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	32,9	56,0
30-ene	1570	25650	67,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	33,0	68,7
31-ene	1521	25639	67,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	33,0	68,0
1-feb	1594	27023	69,1	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	30,9	55,7
2-feb	1038	22096	73,3	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	26,7	90,0
3-feb	1527	31782	79,8	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,2	48,0
4-feb	1552	26589	68,8	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	31,2	51,3
5-feb	1553	26738	68,9	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	31,1	42,0
6-feb	1277	29020	78,3	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,7	75,0
7-feb	1608	31401	79,6	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,4	51,0
8-feb	1505	31864	79,8	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,2	68,0
9-feb	1542	32320	80,1	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	19,9	84,0
10-feb	1117	23828	74,7	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	25,3	82,0
11-feb	1563	26746	68,9	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	31,1	81,6

12-feb	1582	27352	69,4	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	30,6	68,0
13-feb	1599	32345	80,1	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	19,9	64,0
14-feb	1598	32044	79,9	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,1	81,2
15-feb	1525	31167	79,5	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,5	75,0
16-feb	1576	31626	79,7	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,3	66,0
17-feb	1555	31523	79,6	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,4	76,0
18-feb	1416	23061	65,6	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	34,4	68,0
19-feb	1490	9881	29,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30000	71,0	79,0
20-feb	1438	24243	66,7	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	33,3	69,0
21-feb	1355	22419	65,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	35,0	71,0
22-feb	676	10302	56,1	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	43,9	131,0
23-feb	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	131,0
24-feb	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	129,0
25-feb	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	70,0
26-feb	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	20,0
27-feb	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	21,0
28-feb	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	19,0
1-mar	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	23,5
2-mar	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	20,0
3-mar	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	18,0
4-mar	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	20,5
5-mar	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	31,0
6-mar	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	23,5
7-mar	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	24,8
8-mar	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	23,0
9-mar	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	22,0
10-mar	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	25,0
11-mar	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	24,0
12-mar	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	31,0
13-mar	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	44,5
14-mar	0	13456	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	121,3
15-mar	0	12374	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	133,9
16-mar	775	9408	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	46,1	140,0
17-mar	902	12138	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	39,9	96,0
18-mar	1520	19782	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	37,9	40,0
19-mar	1547	17923	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20000	47,3	48,0
20-mar	1525	25729	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	32,0	56,8
21-mar	1552	25865	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	31,8	73,0
22-mar	1546	25761	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	31,9	67,0
23-mar	1546	29247	0,0	9,4	5,3	0,0	0,0	10000	20,5	53,0
24-mar	1528	26499	0,0	19,7	11,3	0,0	0,0	10000	20,7	53,6
25-mar	1437	23490	0,0	23,9	14,4	0,0	0,0	10000	21,9	86,0
26-mar	1368	25679	0,0	12,7	7,7	0,0	0,0	10000	22,0	48,6
27-mar	1423	28990	0,0	4,6	2,7	0,0	0,0	10000	21,2	51,0
28-mar	1412	26955	0,0	13,3	7,8	0,0	0,0	10000	21,2	51,6
29-mar	1463	25012	0,0	25,0	14,4	0,0	0,0	10000	20,9	54,0
30-mar	1470	34225	0,0	24,5	13,7	0,0	0,0	0	0,0	70,0
31-mar	1408	34161	0,0	24,2	13,6	0,0	0,0	0	0,0	55,2
1-abr	1385	38799	0,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0	0,0	58,0
2-abr	1371	29032	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,7	70,9
3-abr	1446	30003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,2	46,5
4-abr	1451	40353	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	54,4
5-abr	1500	41141	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	56,9
6-abr	1539	30948	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,7	71,0
7-abr	872	17653	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	31,3	90,9
8-abr	1338	27502	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	22,7	75,6
9-abr	1502	39945	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	66,9
10-abr	1545	39575	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	41,8
11-abr	1583	40511	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	49,3
12-abr	1535	30720	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,8	50,2
13-abr	1529	31140	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,5	66,2
14-abr	1589	32185	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,0	69,4
15-abr	1610	31648	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,3	50,6
16-abr	1634	31418	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,4	52,4
17-abr	1513	24918	0,0	28,6	16,8	0,0	0,0	10000	20,3	74,4

18-abr	1518	21522	0,0	51,9	29,0	0,0	0,0	10000	19,3	70,4
19-abr	1485	20746	0,0	50,7	29,1	0,0	0,0	10000	19,8	58,7
20-abr	1072	12457	0,0	36,1	29,1	0,0	0,0	10000	27,9	86,6
21-abr	1047	16642	0,0	34,1	24,3	0,0	0,0	10000	24,7	93,7
22-abr	1091	13068	0,0	31,6	25,8	0,0	0,0	10000	28,3	103,1
23-abr	1184	1203	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5000	77,0	141,5
24-abr	751	3389	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	10000	70,2	126,0
25-abr	1297	27707	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	22,5	80,2
26-abr	293	3074	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	72,4	129,8
27-abr	1263	27308	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	22,8	76,6
28-abr	1336	26942	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	23,0	42,1
29-abr	1361	16964	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	20000	48,6	58,7
30-abr	1369	28062	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	22,3	40,9
1-may	1509	30634	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	20,8	54,1
2-may	1543	29642	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,4	57,9
3-may	1570	29861	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,2	56,6
4-may	1551	29998	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,2	79,1
5-may	1551	29660	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	21,4	71,0
6-may	1581	39038	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	61,6
7-may	1532	38165	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	62,7
8-may	1543	38510	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	58,6
9-may	1464	36961	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	61,4
10-may	1465	38201	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	68,2
11-may	1288	34061	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	96,5
12-may	1342	34142	0,0	10,2	6,7	0,0	0,0	0	0,0	82,7
13-may	1375	28061	0,0	31,5	21,4	0,0	0,0	0	0,0	80,2
14-may	1416	28337	0,0	34,8	22,9	0,0	0,0	0	0,0	90,8
15-may	1362	17615	0,0	33,9	24,2	0,0	0,0	10000	23,8	64,3
16-may	919	9754	0,0	20,3	21,7	0,0	0,0	10000	35,4	90,7
17-may	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	136,7
18-may	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	126,7
19-may	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	127,2
20-may	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	52,8
21-may	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	13,6
22-may	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	13,6
23-may	0	2750	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5000	0,0	75,8
24-may	660	8814	42,2	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	57,8	115,3
25-may	631	12497	60,8	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	39,2	101,0
26-may	1160	14450	47,3	0,0	0,0	0,0	0,0	20000	52,7	64,1
27-may	1292	13835	40,3	18,2	12,8	0,0	0,0	20000	46,9	85,1
28-may	1248	15046	43,0	32,5	22,5	0,0	0,0	15000	34,5	74,7
29-may	1475	17470	47,1	37,7	24,6	0,0	0,0	13000	28,2	52,5
30-may	1433	20822	54,8	37,6	24,0	0,0	0,0	10000	21,2	50,4
31-may	1456	10102	28,1	37,8	25,5	0,0	0,0	20644	46,3	53,9
1-jun	1580	33390	79,5	38,5	20,5	0,0	0,0	0	0,0	68,4
2-jun	1510	24143	60,0	32,0	17,8	0,0	0,0	10000	22,2	96,3
3-jun	1562	38668	94,2	10,7	5,8	0,0	0,0	0	0,0	60,3
4-jun	1603	33705	75,7	48,4	24,3	0,0	0,0	0	0,0	78,0
5-jun	1576	34168	82,5	32,3	17,5	0,0	0,0	0	0,0	63,1
6-jun	1600	33564	78,8	40,4	21,2	0,0	0,0	0	0,0	93,8
7-jun	1555	32085	77,3	42,2	22,7	0,0	0,0	0	0,0	88,7
8-jun	1586	7497	19,0	42,6	24,2	0,0	0,0	25000	56,8	69,5
9-jun	1518	5520	14,6	44,5	26,3	0,0	0,0	25000	59,1	82,3
10-jun	1533	20787	53,6	40,5	23,4	0,0	0,0	10000	23,1	78,2
11-jun	1485	23347	60,6	39,8	23,1	0,0	0,0	7000	16,3	64,3
12-jun	1463	23621	61,2	26,9	15,6	0,0	0,0	10000	23,2	72,6
13-jun	1539	21572	54,2	41,4	23,3	0,0	0,0	10000	22,5	89,7
14-jun	1562	19995	50,9	46,2	26,3	0,0	0,0	10000	22,8	97,6
15-jun	1501	23276	59,6	46,6	26,7	0,0	0,0	6000	13,7	80,6
16-jun	1453	22729	59,1	46,2	26,9	0,0	0,0	6000	14,0	65,3
17-jun	1361	18960	52,1	37,8	23,3	0,0	0,0	10000	24,6	117,9
18-jun	1475	19973	51,6	43,9	25,3	0,0	0,0	10000	23,1	80,6
19-jun	1456	19900	52,4	40,9	24,1	0,0	0,0	10000	23,5	65,3
20-jun	1407	20592	54,6	36,5	21,7	0,0	0,0	10000	23,7	58,0
21-jun	1401	27100	70,7	10,1	5,9	0,0	0,0	10000	23,4	54,2

22-jun	1487	20088	53,1	39,4	23,3	0,0	0,0	10000	23,6	67,7
23-jun	1421	20135	53,1	39,4	23,3	0,0	0,0	10000	23,6	54,0
24-jun	1529	19867	52,5	40,2	23,8	0,0	0,0	10000	23,7	55,5
25-jun	1510	19947	52,2	41,7	24,4	0,0	0,0	10000	23,4	54,4
26-jun	1518	20250	52,3	42,4	24,5	0,0	0,0	10000	23,1	58,6
27-jun	1493	20220	52,3	42,2	24,5	0,0	0,0	10000	23,2	47,7
28-jun	1441	19685	51,9	41,6	24,5	0,0	0,0	10000	23,6	46,9
29-jun	1544	4743	13,1	41,2	25,4	0,0	0,0	25000	61,6	45,7
30-jun	1500	6770	18,4	34,3	20,9	0,0	0,0	25000	60,7	49,7
1-jul	1386	14187	39,4	49,0	30,0	0,0	0,0	12000	30,6	88,7
2-jul	1441	11236	31,4	49,0	30,2	0,0	0,0	15000	38,4	50,3
3-jul	1453	18882	48,6	49,0	27,8	0,0	0,0	10000	23,6	65,7
4-jul	1503	18893	51,1	40,3	24,1	0,0	0,0	10000	24,8	53,1
5-jul	437	-1314	-12,6	11,6	24,6	0,0	0,0	10000	88,0	108,8
6-jul	1082	17705	60,9	10,0	7,6	0,0	0,0	10000	31,5	73,4
7-jul	1291	13944	41,2	40,4	26,3	0,0	0,0	12000	32,5	39,9
8-jul	1510	14783	40,3	49,4	29,7	0,0	0,0	12000	30,0	42,3
9-jul	1493	14855	40,2	50,2	30,0	0,0	0,0	12000	29,8	45,2
10-jul	1465	14815	40,9	47,1	28,7	0,0	0,0	12000	30,4	46,8
11-jul	1372	14380	41,7	41,1	26,3	0,0	0,0	12000	31,9	44,8
12-jul	1419	14805	41,7	44,0	27,3	0,0	0,0	12000	31,0	39,1
13-jul	1423	17225	48,2	42,1	26,1	0,0	0,0	10000	25,7	34,9
14-jul	1223	13890	46,4	31,0	22,9	0,0	0,0	10000	30,7	51,7
15-jul	0	-3170	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	120,4
16-jul	0	513	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	23,0
17-jul	0	-2559	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	0,0	10,7
18-jul	822	11495	50,2	10,1	9,7	0,0	0,0	10000	40,1	21,1
19-jul	1481	19044	51,7	38,9	23,3	0,0	0,0	10000	24,9	53,4
20-jul	1510	19601	52,1	40,1	23,5	0,0	0,0	10000	24,4	41,4
21-jul	1541	19578	52,1	39,9	23,4	0,0	0,0	10000	24,4	51,1
22-jul	1506	19934	52,3	40,8	23,6	0,0	0,0	10000	24,1	47,9
23-jul	1546	21044	52,5	44,8	24,7	0,0	0,0	10000	22,9	43,3
24-jul	1324	16143	45,9	44,6	28,0	0,0	0,0	10000	26,1	40,1
25-jul	1295	13706	40,4	49,9	32,5	0,0	0,0	10000	27,1	39,8
26-jul	1561	20817	53,2	41,5	23,4	0,0	0,0	10000	23,4	40,2
27-jul	1422	19448	53,4	35,4	21,4	0,0	0,0	10000	25,2	44,7
28-jul	1531	15540	40,5	41,2	23,7	0,0	0,0	15000	35,8	44,7
29-jul	1404	18586	51,1	39,1	23,7	0,0	0,0	10000	25,2	43,3
30-jul	1380	9625	26,1	40,4	24,2	0,0	0,0	20000	49,7	49,6
31-jul	1393	19815	51,4	43,1	24,7	0,0	0,0	10000	23,8	50,5
1-ago	1374	19602	56,8	27,2	17,2	0,0	0,0	10000	25,9	48,3
2-ago	1476	22173	59,5	28,2	16,5	0,0	0,0	10000	24,0	50,7
3-ago	1480	22537	60,1	27,6	16,1	0,0	0,0	10000	23,9	49,7
4-ago	1464	22352	60,5	25,9	15,3	0,0	0,0	10000	24,2	54,5
5-ago	1449	18555	50,6	21,6	12,9	0,0	0,0	15000	36,6	55,7
6-ago	1364	19100	52,9	16,5	10,0	0,0	0,0	15000	37,1	55,1
7-ago	1443	24337	64,7	19,8	11,5	0,0	0,0	10000	23,8	58,4
8-ago	1407	23252	63,9	19,2	11,6	0,0	0,0	10000	24,6	64,0
9-ago	1450	24228	64,6	19,7	11,5	0,0	0,0	10000	23,9	55,1
10-ago	1468	24770	65,1	19,9	11,4	0,0	0,0	10000	23,5	48,9
11-ago	1447	24673	64,9	20,1	11,5	0,0	0,0	10000	23,5	53,0
12-ago	1402	23918	64,4	19,4	11,4	0,0	0,0	10000	24,1	50,7
13-ago	1303	22789	64,1	17,5	10,7	0,0	0,0	10000	25,2	60,8
14-ago	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	18,7
15-ago	24	5419	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	10,9
16-ago	1185	22789	65,9	13,1	8,2	0,0	0,0	10000	25,9	59,1
17-ago	1439	23492	62,5	23,7	13,7	0,0	0,0	10000	23,8	53,1
18-ago	1401	23198	61,9	24,4	14,2	0,0	0,0	10000	23,9	52,1
19-ago	1409	23663	63,8	20,5	12,1	0,0	0,0	10000	24,1	51,0
20-ago	1401	25512	66,9	16,7	9,6	0,0	0,0	10000	23,5	53,1
21-ago	1363	28262	75,3	1,4	0,8	0,0	0,0	10000	23,9	53,0
22-ago	1461	29406	76,7	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	23,3	55,5
23-ago	1433	27841	75,7	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	24,3	66,7
24-ago	1442	29234	76,6	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	23,4	75,2
25-ago	1466	23467	61,3	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	35,0	45,2

26-ago	1435	20993	55,3	0,0	0,0	0,0	0,0	15000	35,3	58,8
27-ago	1449	20785	54,6	0,0	0,0	11,0	0,1	15000	35,2	62,1
28-ago	1429	15893	41,9	0,0	0,0	27,8	0,1	20000	47,2	57,6
29-ago	1438	15546	41,4	0,0	0,0	30,2	0,1	20000	47,7	53,5
30-ago	1434	15542	41,4	0,0	0,0	32,3	0,1	20000	47,6	57,3
31-ago	1438	21154	54,6	0,0	0,0	31,8	0,1	15000	34,7	53,1
1-sep	1448	19065	47,7	27,5	15,1	32,3	0,1	15000	33,6	53,5
2-sep	1418	16311	43,7	34,6	20,3	32,3	0,0	15000	36,0	57,9
3-sep	1443	16174	42,8	37,3	21,6	11,4	0,0	15000	35,6	56,3
4-sep	1340	15164	42,3	33,2	20,2	0,0	0,0	15000	37,5	38,5
5-sep	1439	15821	42,6	36,3	21,3	0,0	0,0	15000	36,1	46,7
6-sep	1435	15883	42,6	36,5	21,4	0,0	0,0	15000	36,0	62,7
7-sep	1406	20826	55,2	36,5	21,1	0,0	0,0	10000	23,7	63,1
8-sep	1396	20813	55,2	36,4	21,1	0,0	0,0	10000	23,7	59,3
9-sep	1404	16097	42,9	36,5	21,3	0,0	0,0	15000	35,8	70,0
10-sep	1258	14192	41,1	31,6	20,0	0,0	0,0	15000	38,9	46,5
11-sep	1375	20241	54,6	36,0	21,2	0,0	0,0	10000	24,1	66,4
12-sep	1452	20667	55,0	36,3	21,1	0,0	0,0	10000	23,8	50,3
13-sep	1351	19218	53,9	34,2	21,0	0,0	0,0	10000	25,1	64,7
14-sep	1244	20424	58,2	26,5	16,4	0,0	0,0	10000	25,4	83,0
15-sep	474	8787	44,9	8,6	9,5	0,0	0,0	10000	45,6	64,5
16-sep	297	841	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	91,4	24,0
17-sep	1454	25279	63,7	25,2	13,8	0,0	0,0	10000	22,5	66,2
18-sep	1542	23075	57,2	38,3	20,6	0,0	0,0	10000	22,1	93,7
19-sep	1543	22847	56,7	39,1	21,1	0,0	0,0	10000	22,1	75,9
20-sep	1442	22250	57,2	35,7	19,9	0,0	0,0	10000	22,9	78,9
21-sep	1477	22105	56,2	38,3	21,1	0,0	0,0	10000	22,7	63,6
22-sep	1512	32735	79,7	38,3	20,3	0,0	0,0	0	0,0	65,2
23-sep	1545	22214	56,3	38,2	21,0	0,0	0,0	10000	22,6	50,1
24-sep	1344	19848	54,6	35,0	20,9	0,0	0,0	10000	24,5	77,9
25-sep	1437	21737	56,0	37,7	21,1	0,0	0,0	10000	23,0	90,7
26-sep	1440	21739	56,0	37,4	21,0	0,0	0,0	10000	23,0	52,7
27-sep	1470	32094	79,6	37,8	20,4	0,0	0,0	0	0,0	50,2
28-sep	1389	30624	75,3	46,2	24,7	0,0	0,0	0	0,0	120,2
29-sep	869	22196	84,3	19,0	15,7	0,0	0,0	0	0,0	75,3
30-sep	417	6767	38,6	8,4	10,4	0,0	0,0	10000	50,9	54,0
1-oct	1227	29916	79,6	29,6	17,1	0,0	0,0	0	0,0	88,4
2-oct	1440	28878	70,9	36,6	19,6	0,0	0,0	0	0,0	61,0
3-oct	1417	18378	47,1	39,5	22,0	8,7	0,1	10000	22,9	57,5
4-oct	1332	10207	71,4	12,0	18,2	27,3	0,1	0	0,0	57,4
5-oct	617	24080	93,1	8,2	6,9	21,8	0,1	0	0,0	28,0
6-oct	493	13305	79,7	14,3	18,6	10,4	0,0	0	0,0	30,4
7-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	10,4
8-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0	0,0	7,3
9-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	2,6
10-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,7
11-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	1,1
12-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	1,3
13-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	1,3
14-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	1,4
15-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	1,1
16-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0	0,0	0,0
17-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
18-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
19-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
20-oct	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
21-oct	0	2416	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10000	0,0	0,0
22-oct	387	13454	59,7	0,9	0,8	0,0	0,0	10000	39,5	45,2
23-oct	777	15129	55,0	15,9	12,6	0,0	0,0	10000	32,4	38,4
24-oct	1184	24670	68,4	11,4	6,9	0,0	0,0	10000	24,7	38,6
25-oct	1451	29151	68,3	21,1	10,7	0,0	0,0	10000	20,9	55,5
26-oct	1431	27431	68,2	17,9	9,7	0,0	0,0	10000	22,2	65,8
27-oct	794	17653	59,8	13,7	10,1	0,0	0,0	10000	30,2	49,6
28-oct	1295	24806	65,3	19,6	11,2	0,0	0,0	10000	23,5	87,0
29-oct	915	3908	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	13,6

30-oct	319	812	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	9925	91,6	34,4
31-oct	1312	28373	71,8	10,2	5,6	0,0	0,0	10000	22,6	35,0
1-nov	1537	39284	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	55,0
2-nov	1589	39874	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	54,8
3-nov	1606	39019	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	55,9
4-nov	869	26123	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	33,7
5-nov	1624	38069	95,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	56,7
6-nov	1646	38987	95,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	78,5
7-nov	1658	39451	95,8	0,0	0,0	12,0	0,0	0	0,0	92,9
8-nov	1721	38945	95,8	0,0	0,0	12,0	0,0	0	0,0	65,9
9-nov	1520	34365	89,0	10,7	6,5	12,0	0,0	0	0,0	52,6
10-nov	1672	33960	84,5	19,3	11,3	12,0	0,0	0	0,0	49,9
11-nov	1641	31089	78,6	19,2	11,4	12,0	0,0	2500	5,6	48,3
12-nov	1597	31110	78,0	20,7	12,2	12,0	0,0	2500	5,6	65,4
13-nov	1673	29231	73,2	28,8	17,0	12,0	0,0	2500	5,6	57,4
14-nov	1627	28692	73,0	28,4	17,0	12,0	0,0	2500	5,7	49,1
15-nov	1580	28068	71,4	31,0	18,6	12,0	0,0	2500	5,7	62,3
16-nov	1578	16535	43,8	35,5	22,1	12,0	0,0	12500	29,5	50,5
17-nov	1547	16057	42,5	37,7	23,5	12,0	0,0	12500	29,5	66,4
18-nov	1604	21367	54,7	39,6	23,8	12,0	0,0	7500	17,1	46,3
19-nov	1451	21477	58,1	30,2	19,2	12,0	0,0	7500	18,1	44,9
20-nov	1648	21768	56,3	36,1	22,0	12,0	0,0	7500	17,3	39,6
21-nov	1535	21640	55,8	37,1	22,5	12,0	0,0	7500	17,3	40,2
22-nov	61	6253	59,4	1,4	3,2	12,0	0,0	2500	21,2	25,8
23-nov	763	14695	54,2	16,8	14,6	12,0	0,2	7500	24,7	41,6
24-nov	1444	12552	32,3	38,1	23,0	12,0	0,1	17500	40,1	59,2
25-nov	622	7727	38,9	12,6	14,9	12,3	0,0	7500	33,6	46,2
26-nov	800	0	0,0	16,8	14,6	12,7	0,1	24052	79,1	31,4
27-nov	1462	0	0,0	35,0	22,3	17,6	0,1	30342	73,1	53,4
28-nov	0	0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	0	0,0	14,7
29-nov	184	0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	12175	86,4	7,6
30-nov	1573	0	0,0	34,2	20,4	12,0	0,1	30289	68,6	50,0
1-dic	1495	22115	55,6	36,8	21,7	12,0	0,1	8000	17,9	56,5
2-dic	1029	14816	52,7	26,3	22,0	30,5	0,0	8000	25,4	25,0
3-dic	242	5045	41,2	0,3	0,5	13,2	0,0	8000	58,3	17,1
4-dic	1424	22852	56,4	44,8	26,0	0,0	0,0	8000	17,6	63,0
5-dic	1482	21905	54,8	46,5	27,3	0,0	0,0	8000	17,8	58,0
6-dic	1415	20905	54,2	44,8	27,3	0,0	0,0	8000	18,5	47,9
7-dic	1358	20664	54,5	42,9	26,6	0,0	0,0	8000	18,8	42,1
8-dic	1511	21018	54,5	44,3	27,0	0,0	0,0	8000	18,5	71,7
9-dic	477	7404	42,1	12,9	17,3	0,0	0,0	8000	40,6	33,8
10-dic	1211	24582	63,8	29,0	17,7	0,0	0,0	8000	18,5	52,2
11-dic	1426	24353	61,4	34,9	20,6	0,0	0,0	8000	18,0	104,9
12-dic	737	11634	51,1	17,0	17,6	0,0	0,0	8000	31,3	72,0
13-dic	1455	24801	61,9	34,5	20,3	0,0	0,0	8000	17,8	57,9
14-dic	1572	24236	59,2	40,8	23,4	0,0	0,0	8000	17,4	49,3
15-dic	1581	19354	47,6	45,0	26,0	0,0	0,0	12000	26,3	64,7
16-dic	1583	18815	45,7	49,7	28,4	0,0	0,0	12000	26,0	46,7
17-dic	1464	17005	43,1	50,2	29,8	0,0	0,0	12000	27,1	83,5
18-dic	1480	18307	47,8	39,7	24,3	0,0	0,0	12000	27,9	46,0
19-dic	1470	16998	44,0	46,6	28,3	0,0	0,0	12000	27,7	62,0
20-dic	1503	16890	45,9	39,2	25,0	0,0	0,0	12000	29,1	53,9
21-dic	1479	16786	44,2	44,6	27,6	0,0	0,0	12000	28,2	100,0
22-dic	1486	16939	44,4	44,7	27,5	0,0	0,0	12000	28,0	101,8
23-dic	1197	15294	45,5	32,6	22,7	0,0	0,0	12000	31,8	39,6
24-dic	1500	17028	44,4	45,2	27,7	0,0	0,0	12000	27,9	74,4
25-dic	1510	17048	44,4	45,5	27,8	0,0	0,0	12000	27,8	85,3
26-dic	1527	16976	44,4	45,0	27,6	0,0	0,0	12000	28,0	74,5
27-dic	1486	15905	43,1	43,7	27,9	0,0	0,0	12000	29,0	68,9
28-dic	1394	15403	42,7	42,6	27,7	0,0	0,0	12000	29,6	96,2
29-dic	1460	16976	44,4	44,9	27,6	0,0	0,0	12000	28,0	84,0
30-dic	1176	18999	56,4	17,1	11,9	0,0	0,0	12000	31,7	66,4
31-dic	1496	17302	44,9	44,8	27,3	0,0	0,0	12000	27,8	99,5

## Anexo 2.

La tabla 60 presenta los valores promedios diarios de las emisiones de material particulado en el horno 2, el tipo y cantidad de combustible usado para una producción de clínker dada.

Tabla 58: Horno 2 Diario

	HORNO 2									
	Clinker	HFO		PETCOKE		PKS TRITURADO		ACEITE USADO		EMISIONES
	Producido	Consumo	Porcentaje	Consumo	Porcentaje	Consumo	Porcentaje	Aceite Usado	Porcentaje	
	ton	lts	%	Ton	%	Ton	%	GLS	%	
									mgr/m3	
1-ene	1592	16.813	11,32	76	43,32	75,61	23,91	10000	21,45	10,3
2-ene	1656	57.295	48,81	71	51,19	0,00	0,00	0	0,00	11,6
3-ene	1690	64.194	30,81	71	28,49	180,59	40,70	0	0,00	13,1
4-ene	1732	68.626	42,62	67	35,12	76,32	22,26	0	0,00	14,4
5-ene	1729	67.251	39,69	60	30,03	109,27	30,28	0	0,00	15,8
6-ene	1721	25.789	16,29	59	31,24	109,14	32,36	10000	20,11	16,0
7-ene	1685	68.552	42,53	87	45,58	40,79	11,89	0	0,00	16,0
8-ene	1567	65.857	41,66	58	30,87	92,49	27,47	0	0,00	17,0
9-ene	1128	55.101	46,69	38	27,03	66,05	26,28	0	0,00	17,0
10-ene	819	54.653	55,81	35	30,42	28,73	13,77	0	0,00	16,0
11-ene	1527	76.652	51,65	69	39,14	29,11	9,21	0	0,00	17,0
12-ene	1688	30.067	19,63	79	43,13	53,65	16,45	10000	20,79	18,0
13-ene	1688	25.739	17,03	85	47,47	46,43	14,43	10000	21,07	20,2
14-ene	1590	20.455	14,55	74	44,39	55,12	18,41	10000	22,65	20,0
15-ene	1530	20.049	14,40	63	37,93	73,48	24,79	10000	22,88	19,8
16-ene	1773	60.453	37,39	81	42,36	69,73	20,25	0	0,00	21,7
17-ene	1577	18.060	12,45	73	42,18	72,38	23,42	10000	21,95	22,0
18-ene	1718	21.474	13,68	84	44,86	70,74	21,17	10000	20,29	22,0
19-ene	1779	25.690	16,40	83	44,66	62,12	18,62	10000	20,32	24,0
20-ene	1715	26.254	16,92	96	52,22	34,12	10,33	10000	20,53	24,0
21-ene	1772	32.637	20,64	76	40,64	62,55	18,58	10000	20,14	26,0
22-ene	1802	32.004	19,21	92	46,66	53,29	15,02	10000	19,11	25,0
23-ene	1830	31.697	19,20	83	42,39	67,19	19,11	10000	19,29	19,0
24-ene	1790	32.201	19,72	79	40,69	69,85	20,09	10000	19,50	12,6
25-ene	1787	32.389	19,39	93	46,97	51,83	14,57	10000	19,06	15,4
26-ene	597	10.242	17,00	29	39,90	14,60	11,38	6000	31,72	10,0
27-ene	1654	50.144	31,14	90	46,96	7,30	2,13	10000	19,77	13,0
28-ene	1675	57.772	38,64	67	37,82	7	2,24	10000	21,30	14,0
29-ene	1826	36.215	23,66	76	41,56	12	3,57	15000	31,21	17,0
30-ene	1699	64.876	43,11	75	41,80	48	15,09	0	0,00	20,0
31-ene	1655	63.886	41,83	72	39,80	60	18,37	0	0,00	21,7
1-feb	1660	67.181	41,09	72	37,18	76	21,74	0	0,00	23,6
2-feb	1698	29.299	18,65	74	39,62	75	22,32	10000	19,41	27,0
3-feb	1726	26.945	17,52	72	39,53	76	23,12	10000	19,83	21,3
4-feb	1724	8.416	5,56	86	47,63	54	16,62	15000	30,19	12,2
5-feb	1694	27.435	17,69	70	38,16	81	24,50	10000	19,65	15,0
6-feb	1732	66.504	39,33	76	37,61	83	23,06	0	0,00	14,0
7-feb	1692	65.014	37,61	81	39,26	85	23,13	0	0,00	13,2
8-feb	1741	69.993	41,14	80	39,42	70	19,44	0	0,00	15,8
9-feb	1753	29.581	17,94	78	39,63	84	23,95	10000	18,49	17,0
10-feb	434	3.326	6,43	19	31,22	21	19,10	7334	43,25	14,1
11-feb	1662	23.801	15,58	61	33,49	68	21,00	15000	29,93	17,8
12-feb	1704	13.916	9,31	66	37,32	73	22,78	15000	30,59	20,0
13-feb	1725	67.108	41,35	68	35,23	81	23,42	0	0,00	21,0
14-feb	1737	67.306	41,40	66	34,01	85	24,59	0	0,00	22,5
15-feb	1739	66.274	41,53	73	38,68	67	19,80	0	0,00	23,0

16-feb	1738	65.514	40,77	87	45,71	46	13,52	0	0,00	24,3
17-feb	1703	65.368	40,65	73	38,16	73	21,18	0	0,00	25,0
18-feb	1708	31.154	20,77	78	43,76	48	15,14	10000	20,33	26,0
19-feb	0	3.326	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	12,4
20-feb	0	3.326	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	18,0
21-feb	0	3.326	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,0
22-feb	437	19.018	29,40	18	23,49	0	0,00	10000	47,12	6,0
23-feb	1566	24.914	17,74	99	59,15	4	1,41	10000	21,71	10,4
24-feb	1817	26.956	17,60	93	50,89	38	11,60	10000	19,91	12,0
25-feb	1831	31.706	20,25	91	48,94	38	11,35	10000	19,47	13,8
26-feb	1806	33.789	21,70	92	49,53	30	9,19	10000	19,58	15,6
27-feb	1790	34.789	22,09	70	37,23	71	21,32	10000	19,36	17,5
28-feb	1785	36.174	23,48	85	46,49	34	10,25	10000	19,78	18,0
1-mar	1738	30.067	17,55	46	22,47	154	42,18	10000	17,79	19,7
2-mar	1720	28.078	15,38	43	19,89	187	48,03	10000	16,70	21,0
3-mar	967	22.671	21,06	24	18,70	73	31,92	10000	28,32	19,0
4-mar	1369	51.371	45,28	35	25,76	5	2,09	10000	26,87	23,0
5-mar	1853	33.284	25,23	60	38,20	38	13,47	10000	23,10	19,0
6-mar	1715	41.567	31,60	54	34,42	30	10,81	10000	23,17	8,0
7-mar	1741	37.366	22,22	46	23,02	131	36,63	10000	18,13	12,0
8-mar	1757	26.893	15,97	49	24,39	149	41,53	10000	18,11	11,0
9-mar	1142	19.619	16,34	34	23,75	88	34,53	10000	25,38	11,0
10-mar	1790	25.588	14,49	49	23,29	169	44,95	10000	17,26	13,0
11-mar	990	38.005	38,94	30	25,86	73	35,20	0	0,00	13,0
12-mar	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	7,0
13-mar	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	8,0
14-mar	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	9,0
15-mar	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	10,1
16-mar	459	21.274	42,33	16	27,34	0	0,00	5000	30,33	11,0
17-mar	1773	40.526	26,87	51	28,57	78	24,35	10000	20,21	14,0
18-mar	1705	42.619	27,32	42	22,75	101	30,38	10000	19,54	13,6
19-mar	1765	69.271	43,54	50	26,68	101	29,79	0	0,00	15,7
20-mar	1778	32.234	20,58	79	42,31	59	17,65	10000	19,46	16,0
21-mar	1742	30.796	19,64	74	39,51	71	21,41	10000	19,44	17,0
22-mar	1703	41.616	27,37	66	36,47	65	20,13	8000	16,04	20,0
23-mar	1682	66.010	44,17	73	40,97	47	14,86	0	0,00	19,0
24-mar	1627	51.484	35,13	46	26,54	55	17,52	10000	20,80	18,0
25-mar	1708	39.619	25,74	57	31,36	76	23,09	10000	19,81	19,7
26-mar	1695	34.692	22,38	63	34,39	78	23,57	10000	19,67	19,9
27-mar	1793	38.171	23,43	65	33,61	84	24,24	10000	18,71	21,6
28-mar	1703	34.744	21,79	65	34,33	84	24,77	10000	19,12	23,4
29-mar	1135	22.813	20,01	41	30,32	56	22,94	10000	26,73	22,0
30-mar	1772	71.504	44,08	57	29,75	90	26,17	0	0,00	24,0
31-mar	1641	34.540	23,30	66	37,31	59	18,82	10000	20,56	26,0
1-abr	1643	73.863	47,21	61	34,47	61	18,32	0	0,00	18,6
2-abr	1797	36.986	24,01	54	30,98	83	25,22	10000	19,79	13,3
3-abr	1795	38.413	24,78	77	43,93	38	11,62	10000	19,67	15,7
4-abr	1776	78.773	48,35	56	30,41	74	21,23	0	0,00	20,2
5-abr	1336	62.909	47,94	44	29,31	64	22,75	0	0,00	21,3
6-abr	1361	34.480	25,85	50	32,82	52	18,47	10000	22,85	22,9
7-abr	1717	34.923	24,68	84	52,09	5	1,67	10000	21,55	23,8
8-abr	1780	39.007	24,85	99	55,73	0	0,00	10000	19,42	26,4
9-abr	1783	42.153	26,32	75	41,33	45	13,32	10000	19,03	18,5
10-abr	1794	77.825	46,25	62	32,35	77	21,40	0	0,00	17,5
11-abr	1752	80.159	47,79	65	34,41	64	17,80	0	0,00	19,5
12-abr	1765	80.284	47,49	73	37,94	52	14,58	0	0,00	23,2
13-abr	1707	51.500	31,16	60	31,88	72	20,36	9000	16,60	21,8
14-abr	1719	40.955	24,60	61	32,04	89	25,05	10000	18,31	22,8
15-abr	1693	37.413	23,92	53	29,63	90	26,97	10000	19,49	17,0
16-abr	1772	48.413	29,30	46	24,73	97	27,53	10000	18,45	14,1
17-abr	1729	48.559	30,02	42	23,01	97	28,13	10000	18,85	16,2
18-abr	1615	45.455	30,16	38	22,27	88	27,35	10000	20,22	16,9
19-abr	1751	80.415	47,99	46	23,95	88	24,60	1900	3,46	18,9
20-abr	1149	28.132	26,97	41	34,27	21	9,54	10000	29,22	20,3
21-abr	1220	36.205	31,15	31	23,86	46	18,76	10000	26,23	16,2

22-abr	1755	45.569	28,57	43	23,79	97	28,52	10000	19,11	14,6
23-abr	1697	46.434	29,30	43	23,95	93	27,51	10000	19,24	14,3
24-abr	1766	88.075	53,71	45	24,03	78	22,25	0	0,00	16,4
25-abr	1704	52.382	33,96	55	31,22	49	15,05	10000	19,76	18,7
26-abr	1784	49.434	31,43	57	32,01	58	17,17	10000	19,38	21,4
27-abr	1705	43.746	27,62	44	24,42	97	28,72	10000	19,24	22,6
28-abr	1480	43.184	30,32	32	19,98	86	28,29	10000	21,41	17,6
29-abr	1583	35.655	24,49	41	24,56	61	19,53	15000	31,41	19,1
30-abr	1694	54.319	36,58	29	17,05	82	25,85	10000	20,53	20,7
1-may	1691	53.713	34,99	26	15,72	86	29,43	10000	19,86	22,4
2-may	1604	47.629	32,24	26	16,09	87	31,05	10000	20,63	24,1
3-may	1625	58.858	40,46	42	26,72	33	11,87	10000	20,95	25,2
4-may	1665	52.910	34,78	35	21,22	69	23,96	10000	20,04	26,3
5-may	1735	40.379	26,41	60	35,88	52	17,77	10000	19,94	29,0
6-may	1738	58.567	38,41	36	21,36	59	20,23	10000	19,99	25,0
7-may	1701	84.542	51,52	43	24,27	76	24,20	0	0,00	24,2
8-may	1652	75.917	47,52	46	26,54	79	25,94	0	0,00	22,3
9-may	1700	77.531	47,18	49	27,45	79	25,37	0	0,00	23,8
10-may	1690	85.344	51,36	42	23,13	81	25,50	0	0,00	25,5
11-may	1470	60.979	41,59	48	30,12	79	28,29	0	0,00	27,1
12-may	1612	48.417	31,69	63	37,93	88	30,38	0	0,00	25,9
13-may	1661	50.583	32,29	63	36,81	92	30,90	0	0,00	30,9
14-may	1695	50.906	33,03	88	52,36	43	14,61	0	0,00	29,2
15-may	1672	38.708	25,93	95	58,48	44	15,58	0	0,00	27,4
16-may	1673	19.952	13,34	82	50,13	46	16,14	10000	20,39	29,0
17-may	1660	5.983	4,14	91	58,03	46	16,74	10000	21,10	45,0
18-may	1631	0	0,00	110	68,08	46	16,40	7511	15,52	38,0
19-may	1636	0	0,00	110	68,34	53	18,71	6289	12,96	26,5
20-may	1648	-1	0,00	109	71,18	61	23,08	2634	5,74	24,9
21-may	1538	0	0,00	80	50,66	69	24,96	11578	24,38	26,4
22-may	1609	0	0,00	44	27,58	70	25,15	22688	47,27	26,9
23-may	1195	0	0,00	30	26,39	40	19,73	18673	53,88	26,6
24-may	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	10,6
25-may	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	6,1
26-may	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
27-may	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
28-may	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
29-may	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
30-may	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
31-may	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
1-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
2-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
3-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
4-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
5-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
6-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
7-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
8-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
9-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
10-jun	0	0	0,00	1	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
11-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,0
12-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	4,8
13-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	17,6
14-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	41,4
15-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	36,2
16-jun	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	78,7
17-jun	1403	29.981	27,44	34	26,06	0	0,00	15000	46,50	53,0
18-jun	1708	30.752	20,44	72	40,56	16	5,22	15000	33,78	18,3
19-jun	1723	42.125	25,58	71	36,64	57	17,22	10000	20,57	34,6
20-jun	1723	43.677	27,56	60	32,08	61	18,99	10000	21,37	55,4
21-jun	1704	63.708	38,50	62	31,54	32	9,49	10000	20,47	60,5
22-jun	1684	37.323	23,29	62	32,99	73	22,59	10000	21,13	62,3
23-jun	1454	33.011	22,79	63	36,97	49	16,86	10000	23,38	49,2
24-jun	1769	35.136	21,29	70	35,73	75	22,46	10000	20,52	36,8
25-jun	1535	39.833	28,48	54	32,96	40	14,35	10000	24,22	21,3

26-jun	1695	55.750	34,14	43	22,42	75	22,70	10000	20,74	22,0
27-jun	1693	34.271	21,15	77	40,17	58	17,77	10000	20,91	26,7
28-jun	1713	35.761	22,01	70	36,73	67	20,41	10000	20,85	31,4
29-jun	1718	16.179	10,16	66	34,91	74	23,01	15000	31,91	34,0
30-jun	1721	16.461	10,26	67	35,50	73	22,57	15000	31,67	37,7
1-jul	1672	34.702	21,67	57	29,64	84	27,00	10000	21,69	39,4
2-jul	1649	38.358	24,78	60	32,17	62	20,62	10000	22,43	41,2
3-jul	1645	47.525	32,78	48	27,63	44	15,63	10000	23,96	24,6
4-jul	1567	35.223	24,20	45	25,77	74	26,17	10000	23,86	21,4
5-jul	1721	35.775	22,73	48	25,44	91	29,76	10000	22,07	32,7
6-jul	1662	77.979	50,14	58	31,00	57	18,87	0	0,00	33,1
7-jul	1688	75.229	48,96	79	43,00	24	8,04	0	0,00	35,4
8-jul	1743	40.473	26,35	79	43,13	24	7,91	10000	22,61	27,9
9-jul	1671	34.137	23,74	88	51,06	16	5,87	8000	19,33	10,5
10-jul	1726	8.804	6,10	122	70,80	31	11,06	5000	12,04	14,8
11-jul	1700	8.523	5,50	125	67,33	48	15,95	5000	11,21	20,0
12-jul	1696	16.106	10,56	113	61,84	48	16,21	5000	11,39	22,4
13-jul	1734	13.221	8,92	117	65,83	39	13,54	5000	11,71	25,0
14-jul	1691	27.990	18,36	112	61,39	60	20,26	0	0,00	28,8
15-jul	1652	8.492	5,76	115	65,33	49	17,12	5000	11,78	30,5
16-jul	1625	28.054	19,53	88	51,19	48	17,20	5000	12,09	33,3
17-jul	1591	36.348	24,71	47	26,82	71	24,85	10000	23,61	34,1
18-jul	1251	22.640	18,75	51	35,44	40	17,05	10000	28,76	36,2
19-jul	652	4.546	6,40	31	36,72	11	7,97	10000	48,91	32,5
20-jul	1660	25.119	17,09	78	44,57	42	14,71	10000	23,63	23,6
21-jul	1171	11.983	10,86	58	43,64	30	14,00	10000	31,49	11,1
22-jul	985	7.290	42,83	9	42,04	5	15,13	0	0,00	3,5
23-jul	1676	65.204	39,57	78	39,36	0	0,00	10000	21,08	13,4
24-jul	1697	25.421	17,32	104	59,01	0	0,00	10000	23,67	17,4
25-jul	1695	32.858	21,42	103	55,93	0	0,00	10000	22,65	20,5
26-jul	1698	45.067	28,46	94	49,61	0	0,00	10000	21,93	22,6
27-jul	1694	41.994	26,66	86	45,41	18	5,88	10000	22,05	18,1
28-jul	1700	27.850	17,71	59	31,47	54	17,68	15000	33,14	12,6
29-jul	1699	54.296	33,22	50	25,36	64	20,16	10000	21,25	15,5
30-jul	1484	15.852	11,47	40	24,48	37	13,78	20000	50,27	15,4
31-jul	1608	49.098	30,99	51	26,93	62	20,15	10000	21,93	15,4
1-ago	1579	44.692	31,82	44	25,69	53	18,37	10000	24,12	15,3
2-ago	1592	44.088	30,71	46	26,58	56	19,11	10000	23,60	15,2
3-ago	1577	44.994	30,88	49	27,61	55	18,26	10000	23,25	17,1
4-ago	1577	43.963	30,73	45	26,14	57	19,46	10000	23,67	18,2
5-ago	1570	39.945	27,62	42	23,90	61	20,38	12000	28,10	15,5
6-ago	1587	38.986	26,33	47	26,32	61	19,91	12000	27,45	10,5
7-ago	1661	49.046	31,61	53	28,36	58	18,21	10000	21,83	17,3
8-ago	1653	41.963	27,59	55	29,68	64	20,46	10000	22,27	17,0
9-ago	1647	44.306	28,80	53	28,69	65	20,49	10000	22,02	20,4
10-ago	1646	46.338	29,75	53	28,25	65	20,24	10000	21,75	23,4
11-ago	1594	33.910	22,84	59	32,76	66	21,59	10000	22,81	25,0
12-ago	1606	30.629	20,58	60	33,62	71	23,03	10000	22,76	29,3
13-ago	1564	37.348	24,85	57	31,37	66	21,25	10000	22,54	28,2
14-ago	1572	43.452	27,97	55	29,14	67	21,09	10000	21,81	28,7
15-ago	1621	42.713	27,79	52	27,81	71	22,37	10000	22,03	28,9
16-ago	1604	33.265	22,76	55	31,39	68	22,69	10000	23,17	29,1
17-ago	1586	26.160	18,18	59	34,08	72	24,19	10000	23,54	29,1
18-ago	1499	28.254	20,40	53	31,78	67	23,36	10000	24,46	35,2
19-ago	1253	20.265	16,31	50	33,38	59	23,06	10000	27,25	31,9
20-ago	1561	20.900	14,92	62	36,35	71	24,55	10000	24,18	39,4
21-ago	1532	26.942	19,15	55	32,62	70	24,16	10000	24,08	42,5
22-ago	1566	23.431	16,75	59	35,04	69	24,00	10000	24,21	44,4
23-ago	1531	31.285	22,71	50	30,12	64	22,59	10000	24,59	46,7
24-ago	524	9.254	15,05	8	11,24	24	18,64	10000	55,07	28,7
25-ago	1483	32.965	22,90	33	18,77	68	23,04	15000	35,29	45,0
26-ago	1558	27.215	19,29	36	21,20	68	23,50	15000	36,01	46,7
27-ago	1523	26.579	19,47	32	19,62	67	23,69	15000	37,22	53,0
28-ago	1520	31.340	21,68	34	19,39	71	23,79	15000	35,14	35,7
29-ago	1522	25.965	18,55	35	20,88	70	24,28	15000	36,29	18,8

30-ago	1549	26.454	18,51	38	21,90	71	24,06	15000	35,54	23,2
31-ago	1603	28.694	19,49	38	21,26	75	24,75	15000	34,51	28,5
1-sep	1541	14.995	11,29	38	23,65	73	26,82	15000	38,24	23,3
2-sep	1695	20.953	14,23	42	23,63	84	27,65	15000	34,49	21,6
3-sep	640	27.970	38,20	17	18,98	30	19,70	5000	23,13	8,3
4-sep	1596	18.349	13,03	40	23,49	79	27,41	15000	36,07	19,2
5-sep	1615	12.505	8,92	45	26,42	82	28,44	15000	36,23	25,3
6-sep	1500	79.936	54,17	39	21,97	72	23,86	0	0,00	23,2
7-sep	1525	33.974	21,81	52	27,61	58	17,97	15000	32,61	23,5
8-sep	1608	21.276	13,64	64	33,93	64	19,85	15000	32,57	29,7
9-sep	1494	26.099	16,81	55	29,15	68	21,31	15000	32,72	29,0
10-sep	1577	15.297	9,82	65	34,70	73	22,87	15000	32,61	30,6
11-sep	1615	77.384	46,63	66	32,66	71	20,71	0	0,00	33,0
12-sep	1641	37.351	23,21	65	33,64	73	22,10	10000	21,05	33,3
13-sep	1649	39.874	24,37	66	33,11	74	21,83	10000	20,70	36,8
14-sep	1680	40.378	23,67	69	33,31	73	23,23	10000	19,79	27,3
15-sep	1399	29.316	21,16	61	36,11	47	18,38	10000	24,35	35,1
16-sep	1546	30.972	19,98	66	34,83	67	23,42	10000	21,77	38,1
17-sep	1469	49.076	31,38	30	16,00	90	31,05	10000	21,57	30,5
18-sep	1610	19.909	13,37	69	38,02	72	25,96	10000	22,66	32,2
19-sep	1560	26.878	18,14	68	37,77	59	21,32	10000	22,77	36,9
20-sep	1690	30.295	18,66	70	35,28	76	25,27	10000	20,79	47,3
21-sep	1631	24.555	16,07	74	39,64	63	22,22	10000	22,08	37,5
22-sep	1649	22.388	15,51	103	58,83	6	2,29	10000	23,37	21,5
23-sep	1624	57.020	39,13	108	60,87	0	0,00	0	0,00	24,3
24-sep	570	3.294	4,92	36	44,72	0	0,00	10000	50,37	9,5
25-sep	1553	20.107	13,72	79	44,26	52	18,99	10000	23,03	26,9
26-sep	1615	19.316	12,06	81	41,53	75	25,33	10000	21,08	29,0
27-sep	1380	47.259	33,10	72	41,46	67	25,44	0	0,00	27,8
28-sep	349	-1.065	-2,45	13	24,81	7	8,67	8896	68,97	6,6
29-sep	1639	-1.063	-0,71	98	53,89	73	26,34	9123	20,47	22,9
30-sep	1637	28.405	18,57	102	54,61	76	26,82	0	0,00	22,0
1-oct	1502	5.654	4,34	73	46,01	59	24,26	9797	25,39	21,6
2-oct	1650	5.652	3,85	108	60,50	50	18,29	7560	17,36	25,1
3-oct	1056	5.615	5,39	66	51,79	45	23,53	5960	19,29	15,7
4-oct	1395	74.038	53,10	68	40,14	17	6,76	0	0,00	20,5
5-oct	1723	72.475	43,25	68	33,40	72	23,36	0	0,00	30,3
6-oct	1687	28.719	18,02	70	35,95	73	24,86	10000	21,18	27,0
7-oct	607	36.517	51,38	29	33,35	20	15,26	0	0,00	12,6
8-oct	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,4
9-oct	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,1
10-oct	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,1
11-oct	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,1
12-oct	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,1
13-oct	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,1
14-oct	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,1
15-oct	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,3
16-oct	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,8
17-oct	736	95.788	90,81	11	8,74	1	0,45	0	0,00	10,2
18-oct	1703	61.257	37,55	77	38,75	72	23,70	0	0,00	22,4
19-oct	1688	19.167	12,38	79	42,09	68	23,75	10000	21,79	22,0
20-oct	1752	17.594	11,19	80	41,87	74	25,49	10000	21,46	38,4
21-oct	1726	17.302	11,04	81	42,76	72	24,67	10000	21,53	26,7
22-oct	1650	15.750	10,53	81	44,51	62	22,39	10000	22,57	26,8
23-oct	1684	7.375	5,06	86	48,48	63	23,30	10000	23,16	28,8
24-oct	1706	15.907	10,57	76	41,61	71	25,39	10000	22,43	30,7
25-oct	1316	17.667	13,51	60	37,96	55	22,72	10000	25,81	22,2
26-oct	1613	12.959	8,80	80	44,90	64	23,38	10000	22,92	31,8
27-oct	1633	5.653	3,92	108	61,52	36	13,41	9035	21,15	26,7
28-oct	1710	5.653	3,76	106	57,89	46	16,62	9679	21,72	30,5
29-oct	1727	5.650	3,72	122	65,87	22	7,76	10197	22,65	31,9
30-oct	1676	5.652	3,71	98	52,76	75	26,64	7623	16,90	34,4
31-oct	1717	5.652	3,67	100	53,43	74	26,02	7706	16,88	33,0
1-nov	1665	24.073	14,81	106	58,22	81	26,97	0	0,00	45,1
2-nov	1601	18.094	11,95	100	58,77	82	29,28	0	0,00	47,8

3-nov	1632	20.792	13,47	100	57,82	82	28,72	0	0,00	43,5
4-nov	1570	20.156	13,49	104	61,89	68	24,62	0	0,00	40,3
5-nov	1566	26.521	18,12	98	59,85	60	22,03	0	0,00	31,8
6-nov	1700	18.448	12,63	88	53,29	92	34,08	0	0,00	39,1
7-nov	1723	950	0,60	101	56,81	93	31,90	5000	10,69	39,6
8-nov	1695	20.510	12,72	98	53,94	100	33,34	0	0,00	28,9
9-nov	1638	0	0,00	94	54,31	97	34,04	5339	11,65	18,6
10-nov	55	1.046	15,49	4	52,92	4	31,60	0	0,00	1,7
11-nov	213	0	0,00	12	28,89	0	0,34	7999	70,77	6,1
12-nov	1675	0	0,00	86	48,27	105	35,74	7502	15,99	11,2
13-nov	1666	0	0,00	87	50,31	108	37,76	5457	11,93	13,7
14-nov	1610	0	0,00	85	49,30	108	38,09	5716	12,61	14,7
15-nov	1647	0	0,00	90	51,37	109	37,59	5122	11,04	14,6
16-nov	1688	0	0,00	94	52,43	108	36,39	5309	11,18	16,6
17-nov	1756	0	0,00	96	56,15	65	23,07	9365	20,78	16,3
18-nov	1828	0	0,00	103	63,60	0	0,00	15472	36,40	17,8
19-nov	1626	0	0,00	108	65,68	0	0,00	14881	34,32	14,5
20-nov	1591	0	0,00	97	65,24	9	3,86	12065	30,89	15,7
21-nov	1654	0	0,00	88	49,20	94	31,95	8906	18,85	19,2
22-nov	308	0	0,00	21	37,01	4	4,53	8662	58,46	12,8
23-nov	1698	0	0,00	86	49,38	90	31,23	8955	19,39	18,8
24-nov	1759	0	0,00	97	54,88	95	32,63	5840	12,49	20,8
25-nov	1803	0	0,00	101	56,54	89	30,32	6176	13,14	21,8
26-nov	1672	0	0,00	98	56,53	90	31,43	5523	12,04	19,8
27-nov	1489	0	0,00	97	60,67	65	24,72	6145	14,61	19,2
28-nov	1305	0	0,00	61	49,83	59	29,19	6748	20,98	25,0
29-nov	1667	0	0,00	85	49,93	97	34,83	6828	15,25	41,0
30-nov	1664	0	0,00	98	58,87	70	25,50	6891	15,64	36,7
1-dic	1449	0	0,00	88	60,57	59	24,82	5595	14,61	32,4
2-dic	1554	0	0,00	91	59,51	70	27,60	5207	12,89	37,7
3-dic	1491	0	0,00	88	59,04	70	28,68	4830	12,29	37,9
4-dic	1541	0	0,00	90	59,71	70	28,49	4670	11,80	37,0
5-dic	1471	0	0,00	98	67,76	70	29,44	1073	2,80	39,4
6-dic	1210	0	0,00	67	55,21	65	32,19	4046	12,61	44,2
7-dic	56	0	0,00	4	17,80	0	0,00	4871	82,20	1,9
8-dic	1643	0	0,00	102	64,32	59	22,65	5466	13,02	39,3
9-dic	1783	0	0,00	108	63,71	70	25,18	4976	11,12	46,6
10-dic	1667	0	0,00	106	64,83	63	23,42	5067	11,75	41,4
11-dic	1757	0	0,00	114	66,09	67	23,67	4673	10,24	36,2
12-dic	1707	0	0,00	35	38,22	70	47,16	3492	14,62	40,9
13-dic	1735	0	0,00	192	76,46	70	17,04	4299	6,50	37,6
14-dic	1728	0	0,00	114	70,11	67	24,83	2177	5,06	49,7
15-dic	1616	0	0,00	117	73,39	70	26,61	0	0,00	42,9
16-dic	1690	0	0,00	120	72,91	73	27,09	0	0,00	46,7
17-dic	1613	0	0,00	128	74,81	71	25,19	0	0,00	47,7
18-dic	1674	0	0,00	121	69,59	87	30,41	0	0,00	35,5
19-dic	1690	0	0,00	118	68,86	88	31,14	0	0,00	36,1
20-dic	1663	0	0,00	116	68,36	88	31,64	0	0,00	39,9
21-dic	1514	0	0,00	105	66,29	88	33,71	0	0,00	44,6
22-dic	1578	0	0,00	112	67,80	87	32,20	0	0,00	36,0
23-dic	1619	0	0,00	114	69,87	81	30,13	0	0,00	37,0
24-dic	1670	0	0,00	122	73,67	72	26,33	0	0,00	24,2
25-dic	1647	0	0,00	113	68,03	87	31,97	0	0,00	16,4
26-dic	1657	0	0,00	112	67,66	88	32,34	0	0,00	16,9
27-dic	1748	0	0,00	119	68,80	89	31,20	0	0,00	22,4
28-dic	1620	0	0,00	106	67,88	83	32,12	0	0,00	25,5
29-dic	1695	0	0,00	121	73,05	66	24,34	1139	2,61	21,4
30-dic	1645	0	0,00	122	75,71	52	19,69	1959	4,60	17,3
31-dic	1636	0	0,00	118	76,21	20	7,83	6536	15,96	19,7

### **Anexo 3.**

Se incluyen los resultados del monitoreo de emisiones de material particulado, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y CO, entregados por el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental a través de su Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspección (LABCESTTA) de la Universidad Politécnica del Chimborazo.

Durante el 2015 se realizaron 4 monitoreos contratados por la Empresa UNACEM Ecuador durante los meses de Febrero, Mayo, Agosto y Noviembre.

# HORNO 1.

- Febrero 2015.

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p>DEPARTAMENTO : <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b></p> <p>Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias) BOBAMBA - ECUADOR Teléfono: (03) 3013183</p>	 <p><b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b> N° OAE LE 2C 06-088</p>
--	--	--

<b>INFORME DE ENSAYO No:</b>	0293
<b>ST:</b>	15 - 0082 ANALISIS DE GASES
<b>Nombre Peticionario:</b>	UNACEM ECUADOR
<b>Atm. Dirección:</b>	Ing. María Gabriela Solórzano / Silvana Baez Av. Naciones Unidas 1014 y Av. Amazonas
<b>FECHA:</b>	19 de febrero de 2015
<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	12
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	2015/02/10 10:00
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2015/02/03 10:00 - 10:55
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	2015/02/10 - 2015/02/19
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Gases de Combustión
<b>CÓDIGO LABCESTTA:</b>	LAB-G 270-15-LAB-G 281-15
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	ELECTROFILTRO
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	ELECTROFILTRO / UNACEM ECUADOR / 17 N 799107
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	26705
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	TULAS Tabla 6, Libro VI, Anexo 3
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:</b>	Ing. Luis Albán T: 26,2 °C

## RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (mg/Nm <sup>3</sup> )
MP	PEE/LAB-CESTTA/99 EPA CRF 40PT 60 APENDICE A, MÉTODO 5	mg/m <sup>3</sup>	46,89	± 5%	-
SO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	< 20	+ 28%	-
NO <sub>x</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	434	+ 4%	-
*NO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	429	-	-
*NO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	4,7	-	-
CO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	101	+ 3%	-



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA  
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E  
INSPECCIÓN (LABCESTTA)**

**Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Teléfono: (03) 3013183**



**OBSERVACIONES:**

- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
- Valores ajustados según la normativa vigente

PARAMETRO	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	Vel. (m/s)	T Fuente (°C)	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	Numero de Humo Escala Charach
RESULTADO	11,33	7,48	17,7	116	92	1	1291	187	1
LIMITE PERMISIBLE	—	—	—	—	150	800	1800	N.A.	—

\*Valores ajustados según TULAS Tabla 6. Libro VI. Anexo 3. Resultados expresados en miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, corregidos al 7% de O<sub>2</sub>, en base seca.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

**Dr. Klüber Isa F.**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E  
INSPECCIÓN  
LAB - CESTTA  
ESPOCH

- Mayo 2015.

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center">DEPARTAMENTO : <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfono: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-088 <b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b></p>
--	--	---

INFORME DE ENSAYO No:  
ST:

0771  
15 - 0251 ANALISIS DE GASES

Nombre Peticionario:  
Atm.  
Dirección:

UNACEM ECUADOR  
Ing. María Gabriela Salazar / Silvana Baez  
Av. Naciones Unidas 1014 y Av. Amazonas

FECHA:  
NUMERO DE MUESTRAS:  
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:  
FECHA DE MUESTREO:  
FECHA DE ANÁLISIS:  
TIPO DE MUESTRA:  
CÓDIGO LABCESTTA:  
CÓDIGO DE LA EMPRESA:

11 de mayo de 2015  
12  
2015/04/29 09:00  
2015/04/28 16:00 - 16:59  
2015/04/29 - 2015/05/11  
Gases de Combustión  
LAB-G 1154-15-LAB-G 1165-15  
N.A.  
Planta Industrial - Electrofiltro / UNACEM ECUADOR / 17 N  
799197 26705  
MP y Gases de combustión  
Ing. Luis Albin  
T: 28,5 °C

PUNTO DE MUESTREO:  
ANÁLISIS SOLICITADO:  
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:  
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (mg/Nm <sup>3</sup> )
MP	PEELAB-CESTTA/59 EPA CRF 40PT 60 APENDICE A, MÉTODO 5	mg/m <sup>3</sup>	17,18	± 6%	-
SO <sub>2</sub>	PEELAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	< 20	± 28%	-
NO <sub>x</sub>	PEELAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	145	± 4%	-
*NO	PEELAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	143	-	-
*NO <sub>2</sub>	PEELAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	1,4	-	-
CO	PEELAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	60	± 14%	-

Este documento se puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.  
MC01-14

Página 1 de 2  
Edición 5

	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center">DEPARTAMENTO : <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTA)</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfono: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 20 06-008 <b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b></p>
---	---	---

**OBSERVACIONES:**

- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
- Cuadro comparativo con la norma de referencia Tabla 4 "Límites máximos de concentraciones de emisiones al aire para la producción de Cemento" del Acuerdo Ministerial No. 028: Anexo 3 del Libro Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas.

FUENTE FIJA	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	FLUJO (m <sup>3</sup> /h)	T fuente C	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	Numero de Humo Escala Bacharach
Electrofiltro	11,31	7,68	369730,6	111,0	26,27	0	336	85	1
<b>LIMITES PERMISIBLES</b>									
Fuente Eja existente con autorización de operar en funcionamiento antes de marzo de 2003	-	-	-	-	120	800	1400	-	-
Fuente Eja existente con autorización de operar en funcionamiento desde marzo de 2003 hasta fecha publicación de la norma	-	-	-	-	62,8	600	1300	-	-
Fuente Eja nueva con autorización de operar en funcionamiento a partir fecha publicación de la norma	-	-	-	-	50	470	1100	-	-

- Valores ajustados según Tabla 4 del Acuerdo Ministerial No. 028. Resultados expresados en mg/hm<sup>3</sup>; miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, (760 mmHg) de presión y temperatura de cero grados centígrados (0 °C), en base seca y corregidos al 10% de oxígeno (O<sub>2</sub>)

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
**Dr. Kiber Isa F.**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
 ENVIRONMENTAL  
 LAB - CESTTA  
 RIOBAMBA

- Agosto 2015.

	<b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b>  <b>DEPARTAMENTO :</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b>  Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	 Servicio de <b>Acreditación Ecuatoriano</b>  <b>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</b>
---	---	--

<b>INFORME DE ENSAYO No:</b>	0011
<b>ST:</b>	15 - 0001 ANALISIS DE GASES
<b>Nombre Peticionario:</b>	UNACEM ECUADOR / PLANTA INDUSTRIAL
<b>Atn.</b>	Ing. Silvana Báez
<b>Dirección:</b>	Km 7 1/2 Vía a Selva Alegre
<b>FECHA:</b>	14 de agosto de 2015
<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	3
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	2015/08/05 08:00
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2015/08/04 10:30 - 11:30
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	2015/08/05 - 2015/08/14
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Gases de Combustión
<b>CÓDIGO LABCESTTA:</b>	LAB-GUNACEM 1-15-LAB-GUNACEM 3-15
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	G 1 - G 3
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	PLANTA INDUSTRIAL - ELECTROFILTRO # 1 / UNACEM ECUADOR / 17 N 799197 26705
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	MP y Gases de combustión
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	Ing. Luis Albán
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANALISIS:</b>	T: 24,2 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (mg/Nm <sup>3</sup> )
MP	PEE/LABCESTTA/59 EPA CRF 40PT 60 APENDICE A MÉTODO 5	mg/m <sup>3</sup>	25,33	± 6%	-
SO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	< 20	± 28%	-
NO <sub>x</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	283	± 15%	-
*NO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	280	-	-
*NO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	2,3	-	-
CO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	103	± 3%	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados  
**MC01-14**

Página 1 de 2  
 Edición 5

	<p style="text-align: center;"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p style="text-align: center;"><b>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b></p> <p style="text-align: center;">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  <b>RIOBAMBA - ECUADOR</b>          Telefax: (03) 3013183</p>	 <p style="text-align: right;">Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p style="text-align: right;"><b>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008</b>  <b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b></p>
---	---	---

**OBSERVACIONES:**

- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
- Cuadro comparativo con la norma de referencia Tabla 5 "Límites máximos de concentraciones de emisiones al aire para la producción de Cemento" del Acuerdo Ministerial No. 028: Anexo 3 del Libro Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas.

FUENTE FIJA	O <sub>2</sub> (%)	UO <sub>2</sub> (%)	FLUJO (m <sup>3</sup> /h)	T fuente C	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	Numero de Humo Escala Bacharach
<b>Electrofiltro</b>	12,67	6,30	366972,0	116	45,63	0	766	171	1
<b>LÍMITES PERMISIBLES</b>									
Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento antes de enero de 2003	-	-	-	-	120	800	1400	-	-
Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento desde enero de 2003 hasta fecha publicación de la reforma de la norma	-	-	-	-	67,8	600	1200	-	-
Fuente fija nueva: con autorización de entrar en funcionamiento a partir fecha publicación de la reforma de la norma	-	-	-	-	50	470	1100	-	-

- Valores ajustados según Tabla 5 del Acuerdo Ministerial No. 028. Resultados expresados en mg/Nm<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, (760 mmHg) de presión y temperatura de cero grados centígrados (0 °C), en base seca y corregidos al 10% de oxígeno (O<sub>2</sub>)

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
 Dr. Kleber Isa F.  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
 E INSPECCIÓN  
 LAB - CESTTA  
 ESPOCH

- Noviembre 2015.

	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center"><b>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de <b>Acreditación</b> Ecuatoriano</p> <p><b>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</b></p>
---	---	--

<b>INFORME DE ENSAYO No:</b>	10
<b>ST:</b>	009-15 ANALISIS DE GASES
<b>Nombre Peticionario:</b>	UNACEM ECUADOR
<b>Atn.</b>	Ing. Silvana Báez
<b>Dirección:</b>	Km 7 1/2 Vía a Selva Alegre Otavalo - Imbabura 14 de Diciembre del 2015
<b>FECHA:</b>	02-12-2015 08:00
<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	3
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	01-12-2015 10:00 – 11:00
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	02-12-2015 - 14-12-2015
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	Gases de Combustión
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	LAB-GUN 45-15-LAB-GUN 47-15
<b>CÓDIGO LABCESTTA:</b>	G 1 - G 3
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	Horno 1 17N 799197/26705
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	MP, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> y CO
<b>ANALISIS SOLICITADO:</b>	Ing. Ghinson Guevara
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	T: 19,6°C
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANALISIS:</b>	

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (mg/Nm <sup>3</sup> )
MP	PEE/LABCESTTA/59 EPA CRF 40PT 60 APENDICE A MÉTODO 5	mg/m <sup>3</sup>	27,73	± 6%	-
SO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	<20	±28 %	-
NO <sub>x</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	120	± 4%	-
*NO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	117	-	-
*NO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	3,1	-	-
CO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	93	± 14%	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados  
**MC01-14**

Página 1 de 2  
Edición 5

## HORNO 2

- Febrero 2015.

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p><b>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b></p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p><b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b> N° OAE LE 2C 06-008</p>
--	--	--

<b>INFORME DE ENSAYO No:</b>	0292
<b>ST:</b>	15 - 0081 ANALISIS DE GASES
<b>Nombre Peticionario:</b>	UNACEM ECUADOR
<b>Atn.</b>	Ing. María Gabriela Salazar / Silvana Báez
<b>Dirección:</b>	Av. Naciones Unidas 1014 y Av. Amazonas
<b>FECHA:</b>	19 de febrero de 2015
<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	12
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	2015/02/10 10:00
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2015/02/03 16:20 - 17:15
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	2015/02/10 - 2015/02/19
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Gases de Combustión
<b>CÓDIGO LABCESTTA:</b>	LAB-G 258-15-LAB-G 269-15
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	SALIDA FILTRO 2
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	SALIDA FILTRO 2 / UNACEM ECUADOR / 17 N 799283 26595
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	TULAS Tabla 6, Libro VI, Anexo 3
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	Ing. Luis Albán
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:</b>	T: 17,3 °C

### RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (mg/Nm <sup>3</sup> )
MP	PEE/LAB-CESTTA/59 EPA CRF 40PT 60 APENDICE A. MÉTODO 5	mg/m <sup>3</sup>	14,48	± 6%	-
SO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	< 20	± 28%	-
NO <sub>x</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	288	± 4%	-
*NO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	287	-	-
*NO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	1,0	-	-
CO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	134	± 3%	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.

MC01-14

Página 1 de 2  
Edición 4



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA  
AMBIENTAL**  
**DEPARTAMENTO :**  
**LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E  
INSPECCIÓN (LABCESTTA)**  
Panamericana Sur Km. 1 %, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183



**OBSERVACIONES:**

- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
- Valores ajustados según la normativa vigente

PARAMETRO	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	Vel. (m/s)	T Fuente (°C)	MP (mg/Nm <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	Numero de Humo Escala Bacharach
RESULTADO	12,00	6,96	19,1	134	30	0	924	261	3
LIMITE PERMISIBLE	----	----	----	----	50	600	1300	N.A.	----

\*Valores ajustados según TULAS Tabla 6. Libro VI. Anexo 3. Resultados expresados en miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, corregidos al 7% de O<sub>2</sub>, en base seca.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
**Dr. Kleber Isa F.**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**  
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
E INSPECCIÓN  
LAB - CESTTA  
ESPOCH

- Mayo 2015.

	<b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b>  <b>DEPARTAMENTO :</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b>  Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	 Servicio de <b>Acreditación Ecuatoriano</b>  <b>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</b>
---	---	--

<b>INFORME DE ENSAYO No:</b>	0770
<b>ST:</b>	I5 - 0250 ANALISIS DE GASES
<b>Nombre Peticionario:</b>	UNACEM ECUADOR
<b>Atn.</b>	Ing. María Gabriela Salazar / Silvana Báez
<b>Dirección:</b>	Av. Naciones Unidas 1014 y Av. Amazonas
<b>FECHA:</b>	11 de mayo de 2015
<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	12
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	2015/04/29 09:00
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2015/04/28 10:30 - 11:25
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	2015/04/29 - 2015/05/11
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Gases de Combustión
<b>CÓDIGO LABCESTTA:</b>	LAB-G 1142-15-LAB-G 1153-15
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	N.A.
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Planta Industrial - Salida Filtro Horno 2 / UNACEM
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	ECUADOR / 17 N 799283 26595
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	MP y Gases de combustión
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:</b>	Ing. Luis Albán T: 19,0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (mg/Nm <sup>3</sup> )
MP	PEE/LAB-CESTTA/59 EPA CRF 40PT 60 APENDICE A. MÉTODO 5	mg/m <sup>3</sup>	22.80	± 6%	-
SO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	<20	± 28%	-
NO <sub>x</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	116	± 4%	-
*NO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	113	-	-
*NO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	3,0	-	-
CO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30	ppm	105	± 3%	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados  
MC01-14

Página 1 de 2  
Edición 5

	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center"><b>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 %, ESPOCH (Facultad de Ciencias)          RIOBAMBA - ECUADOR          Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008          LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
---	---	---

**OBSERVACIONES:**

- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
- Valores ajustados según la normativa vigente;

FUENTE FIJA	O2 (%)	CO2 (%)	FLUJO (m3/h)	T fuente C	MP (mg/Nm3)	SO2 (mg/Nm3)	NOx (mg/Nm3)	CO (mg/Nm3)	Numero de Humo Escala Bacharach
Salida Filtro Horno 2	12,46	6,76	388975,6	120	49,99	0	392	216	1
<b>LIMITES PERMISIBLES</b>	-	-	-	-	<b>80</b>	<b>800</b>	<b>1400</b>	N.A.	-

\*Valores ajustados según Norma técnica para el Coprocesamiento de desechos peligrosos en Hornos cementeros N° 048. Tabla 2 Niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera. Resultados expresados en miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, corregidos al 7% de O<sub>2</sub>.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
 \_\_\_\_\_  
**Dr. Kléber Isa F.**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
 E INSPECCIÓN  
 LAB - CESTTA  
 ESPOCH

- Agosto 2015.

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center"><b>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de <b>Acreditación</b> Ecuatoriano</p> <p><b>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</b></p>
--	---	--

<b>INFORME DE ENSAYO No:</b>	0012
<b>ST:</b>	15 - 0002 ANALISIS DE GASES
<b>Nombre Peticionario:</b>	UNACEM ECUADOR / PLANTA INDUSTRIAL
<b>Atn.</b>	Ing. Silvana Báez
<b>Dirección:</b>	Km 7 1/2 Vía a Selva Alegre
<b>FECHA:</b>	17 de agosto de 2015
<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	3
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	2015/08/06 08:00
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2015/08/05 15:00 - 16:00
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	2015/08/06 - 2015/08/17
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Gases de Combustión
<b>CÓDIGO LABCESTTA:</b>	LAB-GUNACEM 10-15-LAB-GUNACEM 12-15
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	G 1 - G 3
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	PLANTA INDUSTRIAL - SALIDA DEL FILTRO HORNO 2 / UNACEM ECUADOR / 17 N 799283 26595
<b>ANALISIS SOLICITADO:</b>	MP y Gases de combustión
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	Ing. Luis Albán
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANALISIS:</b>	T: 16,9 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (mg/Nm <sup>3</sup> )
MP	PEE/LABCESTTA/59 EPA CRF 40PT 60 APENDICE A MÉTODO 5	mg/m <sup>3</sup>	42,64	± 5%	-
SO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	< 20	± 28%	-
NO <sub>x</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	292	± 4%	-
*NO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	292	-	-
*NO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	0,7	-	-
CO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	211	± 3%	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados  
MC01-14

Página 1 de 2  
Edición 5

	<p style="text-align: center;"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p style="text-align: center;"><b>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b></p> <p style="text-align: center;">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p style="text-align: center;">Servicio de <b>Acreditación</b> Ecuatoriano</p> <p style="text-align: center;">Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 <b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b></p>
---	--	--

**OBSERVACIONES:**

- Los ensayos marcados con (\*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE
- Valores ajustados según la normativa vigente;

FUENTE FIJA	O2 (%)	CO2 (%)	FLUJO (m3/h)	T fuente C	MP (mg/Nm3)	SO2 (mg/Nm3)	NOx (mg/Nm3)	CO (mg/Nm3)	Numero de Humo Escala Bacharach
Salida Filtro Horno 2	11,74	6,99	432312,2	176	59,53	36	838	368	1
<b>LIMITES PERMISIBLES</b>	-	-	-	-	<b>80</b>	<b>800</b>	<b>1400</b>	<b>N.A.</b>	-

\*Valores ajustados según Norma técnica para el Coprocesamiento de desechos peligrosos en Hornos cementeros N° 048. Tabla 2 Niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera. Resultados expresados en miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, corregidos al 7% de O<sub>2</sub>.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**


---

**Dr. Kleber Isa F.**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**  
  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
 E INSPECCIÓN  
 LAB - CESTTA  
 ESPOCH

- Noviembre 2015.

	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center"><b>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de <b>Acreditación</b> Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 <b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b></p>
---	---	--

<b>INFORME DE ENSAYO No:</b>	13
<b>ST:</b>	012-15 ANALISIS DE GASES
<b>Nombre Peticionario:</b>	UNACEM ECUADOR
<b>Atn.</b>	Ing. Silvana Bóez
<b>Dirección:</b>	Km 7 1/2 Vía a Selva Alegre Otavalo - Imbabura
<b>FECHA:</b>	14 de Diciembre del 2015
<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	3
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	05-12-2015 08:00
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	14-11-2015 10:00 – 11:00
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	05-12-2015 - 14-12-2015
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Gases de Combustión
<b>CÓDIGO LABCESTTA:</b>	LAB-GUN 56-15-LAB-GUN 58-15
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	G 1 - G 3
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Horno 2 17N 799312/26606
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	MP, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> y CO
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	Ing. Ghinson Guevara
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:</b>	T: 29°C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (mg/Nm <sup>3</sup> )
MP	PEE/LABCESTTA/59 EPA CRF 40PT 60 APENDICE A MÉTODO 5	mg/m <sup>3</sup>	30,02	± 5%	-
SO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	<20	±28 %	-
NO <sub>x</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	166	± 4%	-
*NO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	165	-	-
*NO <sub>2</sub>	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	1,5	-	-
CO	PEE/LAB-CESTTA/03 EPA-CTM-30 Celdas Electroquímicas	ppm	58	± 14%	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados  
MC01-14

Página 1 de 2  
Edición 5

	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center"><b>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 %, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
---	---	---

**OBSERVACIONES:**

- Los ensayos marcados con (\*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE
- Operación horno con molino de crudo
- Valores ajustados según la normativa vigente;

FUENTE FIJA	O2 (%)	CO2 (%)	FLUJO (m3/h)	T fuente C	MP (mg/Nm3)	SO2 (mg/Nm3)	NOx (mg/Nm3)	CO (mg/Nm3)	Numero de Humo Escala Bacharach
Horno 2	11,19	7,67	314049,6	111,1	48,52	0	489	104	2
<b>LIMITES PERMISIBLES</b>	-	-	-	-	<b>80</b>	<b>800</b>	<b>1400</b>	N.A.	-

\*Valores ajustados según Norma técnica para el Coprocesamiento de desechos peligrosos en Hornos cementeros N° 048, Tabla 2 Niveles máximos permisibles de emisiones a la atmosfera. Resultados expresados en miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, corregidos al 7% de O<sub>2</sub>.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
 Dr. Kléber Isa F.  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



#### Anexo 4.

Los resultados del monitoreo de dioxinas y furanos realizados por el Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspección (LABCESTTA) de la Universidad Politécnica del Chimborazo en Noviembre del 2015 son los siguientes.



**INFORME DE ENSAYO No:** 09  
**ST:** 008-15 ANÁLISIS DE GASES

**Nombre Peticionario:** UNACEM ECUADOR  
**Atn:** Ing. Patricio Díaz  
**Dirección:** Sector Perugachi km 7 ½ vía Selva Alegre Otavalo/Ecuador

**FECHA:** 15 de Marzo del 2016  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 01  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2015/12/01 08:00  
**FECHA DE MUESTREO:** 2015/11/30 15:00  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 2015/11/30 – 2016/03/15  
**TIPO DE MUESTRA:** Gases de Combustión  
**CÓDIGO LAB-CESTTA:** LAB-GUN 41-15  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** H1M23  
**PUNTO DE MUESTREO:** HORNO 1/ 17M 799197/ 26705  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Dioxinas y Furanos  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:** Ing. Dr. Kleber Isa  
**CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:** T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
Dioxinas y Furanos	PEE/LAB-CESTTA/219 EPA-23	ngTEQ/m <sup>3</sup>	0,024755	0,2	-

**OBSERVACIONES:**

- Condiciones de operación del Horno N° 1, con Coprocesamiento
- Condiciones normales, base seca, corregido al 7% de oxígeno. Acuerdo ministerial N° 048. Norma técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en hornos cementeros
- El muestreo fue realizado por el laboratorio CESTTA y el análisis por SGS Analytical Perspectives (EE.UU)

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

Dr. Kleber Isa F.  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN  
(LABCESTTA)**

**Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183**

**INFORME DE ENSAYO No:** 03  
**ST:** 002-15 ANÁLISIS DE GASES

**Nombre Peticionario:** UNACEM ECUADOR  
**Afn:** Ing. Patricio Díaz  
**Dirección:** Sector Perugachi km 7 ½ vía Selva Alegre Otavalo/Ecuador

**FECHA:** 15 de Marzo del 2016  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 01  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2015/11/14 08:00  
**FECHA DE MUESTREO:** 2015/11/13 11:00  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 2015/11/13 - 2016/03/15  
**TIPO DE MUESTRA:** Gases de Combustión  
**CÓDIGO LAB-CESTTA:** LAB-GUN 08-15  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** H2M23  
**PUNTO DE MUESTREO:** HORNO 2 17M 799312 / 26606  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Dioxinas y Furanos  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:** Ing. Dr. Kleber Isa  
**CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:** T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
Dioxinas y Furanos	PEE/LAB-CESTTA/219 EPA-23	ugTEQ/m3	0,027309	0,2	-

**OBSERVACIONES:**

- Condiciones de operación del Horno N° 2, con Coprocesamiento
- Condiciones normales, base seca, corregido al 7% de oxígeno. Acuerdo ministerial N° 048. Norma técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en hornos cementeros
- El muestreo fue realizado por el laboratorio CESTTA y el análisis por SGS Analytical Perspectives (EE.UU)

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

**Dr. Kleber Isa F.**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**