



FACULTAD DE POSGRADOS

CONTRIBUCIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTA  
CEMENTERA MEDIANTE LA INCLUSIÓN DEL TDF COMO COMBUSTIBLE  
ALTERNATIVO

AUTOR

Adrián Israel Valencia Noboa

AÑO  
2018



FACULTAD DE POSGRADOS

CONTRIBUCIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTA CEMENTERA MEDIANTE LA  
INCLUSIÓN DEL TDF COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos  
para optar por el título de Magister en Dirección de Operaciones y Seguridad  
Industrial

Profesora Guía

Msc. Mariuxy Iveth Jaramillo Villacrés

Autor

Adrián Israel Valencia Noboa

Año

2018

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

"Declaro haber dirigido el trabajo, Contribución de la eficiencia energética en planta cementera mediante la inclusión del tdf como combustible alternativo a través de reuniones periódicas con el estudiante Adrian Israel Valencia Noboa, en el semestre 2018-1, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Mariuxy Iveth Jaramillo Villacres

Master of Environmental Management in the Field of Sustainable Development

C.C: 1716754336

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR**

"Declaro haber revisado este trabajo, Contribución de la eficiencia energética en planta cementera mediante la inclusión del tdf como combustible alternativo, del estudiante Adrian Israel Valencia Noboa, en el semestre 2018-1, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Carlos Andres Velasco Puga  
Magister en Seguridad Salud y Ambiente  
C.C. 170897933-9

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

---

Adrián Israel Valencia Noboa

CI: 1713235891

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, A mi esposa e hijo, por todo su esfuerzo y apoyo. A mis Padres y hermanos, por impulsar e incentivar mi desarrollo profesional. A mi tutor de tesis, Msc. Mariuxy Jaramillo por guiarme con sus conocimientos y compartir valiosa información que permitieron culminar el trabajo de investigación y mi formación académica. A la empresa cementera, que me permitió desarrollar mi trabajo de investigación con el apoyo de profesionales cementeros con mucha experiencia. A todos mis compañeros de maestría, que con sus conocimientos y experiencia hicieron de esta etapa académica un momento muy enriquecedor para mi profesión.

## **DEDICATORIA**

A mis amados hermanos; la constancia es la voluntad inquebrantable que nos permite atravesar barreras que nos imponemos sin razón alguna, algunos la llaman suerte, otros la llaman casualidad pero es disciplina. El éxito no está en la perfección, sino en la motivación, el esfuerzo y la constancia.

## RESUMEN

El presente caso de investigación se fundamenta en los factores políticos que se han dado en los últimos años, factores que tienen como principio salvaguardar los ecosistemas de nuestro territorio, el Ministerio de Ambiente (MAE) tiene establecidos instructivos y procedimientos para la gestión ambiental de aquellos sectores productivos que generan pasivos ambientales, el MAE se apalancó a los decretos ejecutivos que en los últimos años han afectado al sector productivo privado que usaba recursos naturales del tipo combustible subsidiado.

Los consumos de combustibles que fueron subsidiados por el gobierno se han venido reduciendo a partir de las medidas tomadas, es decir a partir de que el decreto ejecutivo No. 799 se encuentra vigente (15 de octubre del 2015), el sector privado ha tomado esta medida como una oportunidad de optimizar sus procesos pues seguir consumiéndolos no es viable ya que los costes de producción se elevan demasiado.

El uso de combustibles alternativos para la industria cementera se ha venido dando desde hace décadas en países Europeos, por lo tanto existen los conocimientos, información y el cómo hacerlo para aplicarlo en nuestra región. En el caso específico del TDF (tire derived fuel), es aún un material que no está disponible para el sector industrial puesto que las obligaciones que tienen los generadores de este tipo de pasivos ambientales no logran cumplir los objetivos de gestión anual, la ley es incremental a partir de que el instructivo para la gestión de neumáticos usados del Acuerdo Ministerial No. 20 (19 de Abril del 2013), cuando llegue a su máximo cumplimiento de justificar como mínimo el 85% de la gestión de sus pasivos ambientales, la disponibilidad del TDF será un volumen atractivo para cualquier tipo de procesamiento.

El acondicionamiento de combustibles alternativos para ser inyectados en la industria cementera tiene un coste logístico y por su preparación, valores que

son cuantificados por su aporte en poder calórico, el TDF cumple con las especificaciones de coste, disponibilidad, poder calórico y sobre todo justificativo ambiental para ser considerado dentro de una matriz de combustibles cementera.

## **ABSTRACT**

This research case is based on the political factors that have occurred in recent years, factors that have as a principle to safeguard the ecosystems of our territory, the Ministry of Environment (MAE) has established instructions and procedures for environmental management of those productive sectors that generate environmental liabilities, the MAE is leveraged to the executive decrees that in recent years have affected the private productive sector that used natural resources of the subsidized fuel type.

The fuel consumptions that were subsidized by the government have been reduced from the measures taken, that is to say, since executive decree No. 799 is in force (October 15, 2015), the private sector has taken this measured as an opportunity to optimize their processes, as continuing to consume them is not viable since production costs rise too high.

The use of alternative fuels for the cement industry has been taking place for decades in European countries, therefore there is knowledge, information and how to apply it in our region.

In the specific case of the TDF (tire derived fuel), it is still a material that is not available to the industrial sector since the obligations that the generators of this type of environmental liabilities have failed to meet the annual management objectives, the law is incremental from that the instructions for the management of used tires of the Ministerial Agreement No. 20 (April 19, 2013), when it reaches its maximum compliance to justify at least 85% of the management of its environmental liabilities, the availability TDF will be an attractive volume for any type of co-processing.

The conditioning of alternative fuels to be injected in the cement industry has a logistical cost and for its preparation, values that are quantified by their contribution in caloric power, the TDF complies with the specifications of cost,

availability, caloric power and above all environmental justification to be considered within a matrix of cement fuels.

## INDICE

1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.1.1. Análisis de la industria .....	1
1.1.2. Análisis del Marco Legal.....	23
1.1.3. Planteamiento y formulación del problema.....	25
1.2. Objetivos.....	26
1.2.1. Objetivo general.....	26
1.2.2. Objetivos específicos.....	26
1.3. Planteamiento de la hipótesis.....	27
1.4. Marco metodológico de la investigación .....	27
2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO .....	28
2.1. Marco Referencial .....	28
2.1.2. Neumáticos.....	32
2.2. Marco Conceptual.....	40
3. CAPITULO III. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	42
3.1. Análisis técnico de la situación descrita en el planteamiento del problema .....	42
3.2. Análisis financiero de la situación descrita en el planteamiento del problema .....	45
4. CAPITULO IV. RESOLUCIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA AL SOLUCIONAR LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA.....	49
4.1. Propuesta de Mejora .....	49
4.1.1 Características y capacidades de los equipos .....	53
4.2. Aplicación de herramienta técnica.....	54
4.3. Análisis financiero de la implementación .....	63

4.4. Diseño implementación/Plan de acción .....	64
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>71</b>
5.1. Conclusiones.....	71
5.2. Recomendaciones .....	72
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>81</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Proceso de elaboración de cemento .....	1
Figura 2	Proceso de elaboración de cemento .....	2
Figura 3	Proceso de elaboración de cemento .....	2
Figura 4	Proceso de elaboración de cemento .....	3
Figura 5	Proceso de elaboración de cemento .....	4
Figura 6	Proceso de elaboración de cemento .....	4
Figura 7	Proceso de elaboración de cemento .....	5
Figura 8	Proceso de elaboración de cemento .....	5
Figura 9	Proceso de elaboración de cemento .....	6
Figura 10	Proceso de elaboración de cemento .....	7
Figura 11	Proceso de elaboración de cemento .....	7
Figura 12	Proceso de elaboración de cemento .....	8
Figura 13	Proceso de elaboración de cemento .....	8
Figura 14	Esquema sistema precalcinador .....	10
Figura 15	Proceso de elaboración de cemento .....	12
Figura 16	Proceso de elaboración de cemento .....	13
Figura 17	Proceso de elaboración de cemento .....	13
Figura 18	Proceso de elaboración de cemento .....	14
Figura 19	Proceso de elaboración de cemento .....	15
Figura 20	Proceso de elaboración de cemento .....	15
Figura 21	Proceso de elaboración de cemento .....	16
Figura 22	Proceso de elaboración de cemento .....	16
Figura 23	Proceso de elaboración de cemento .....	17
Figura 24	Proceso de elaboración de cemento .....	17
Figura 25	Proceso de elaboración de cemento .....	18
Figura 26	Proceso de elaboración de cemento .....	18
Figura 27	Proceso de elaboración de cemento .....	19
Figura 28	Proceso de elaboración de cemento .....	19
Figura 29	Proceso de elaboración de cemento .....	20
Figura 30	Proceso de elaboración de cemento .....	21

Figura 31	Proceso de elaboración de cemento .....	21
Figura 32	Proceso de elaboración de cemento .....	22
Figura 33	Proceso de elaboración de cemento .....	22
Figura 34	Cadena de Valor .....	28
Figura 35	Composición de los neumáticos.....	33
Figura 36	Ciclo de vida del neumático .....	40
Figura 37	Fuentes de energía .....	42
Figura 38	Representación gráfica comparativa de la matriz de combustible ..	46
Figura 39	Línea de Producción de cemento.....	50
Figura 40	Diagrama de Proceso de la fabricación de cemento.....	51
Figura 41	Diagrama de Proceso para la obtención del TDF hasta su disposición fina.....	53
Figura 42	Diagrama de Pareto .....	55
Figura 43	Diagrama Ishikawa.....	56
Figura 44	Análisis comparativo de la evolución del consumo en la matriz de combustibles .....	57
Figura 45	Análisis comparativo de la evolución del consumo en la matriz de combustibles. ....	57
Figura 46	Análisis del impacto del coste en los combustibles de la matriz .....	58
Figura 47	Diagrama ponderado FODA.....	60
Figura 48	Diagrama Ciclo de Deming .....	61
Figura 49	Obtención de Punto verde.....	62
Figura 50	Certificación Punto verde .....	62
Figura 51	Beneficios de la certificación .....	66
Figura 52	Categorías para certificación Punto verde .....	66
Figura 53	Material TDF .....	70

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Acondicionamiento de materiales en Torre de ciclones .....	11
Tabla 2	Composición de los neumáticos .....	35
Tabla 3	Propiedades térmicas de los diferentes combustibles utilizados.....	36
Tabla 4	Porcentajes de materiales que componen los neumáticos.....	39
Tabla 5	Poder calórico de los combustibles que conforman la actual matriz. .	42
Tabla 6	Datos del material disponible para el caso de estudio.....	43
Tabla 7	Reemplazo de TDF por Petcoke en línea 2.....	44
Tabla 8	Aporte de energía de los combustibles de la matriz .....	44
Tabla 9	Aporte de energía anual de los combustibles de la matriz .....	44
Tabla 10	Ejemplo de Volumen de combustibles que se pueden consumir en las líneas 1 y 2. ....	45
Tabla 11	Coste de los combustibles de la matriz, comparaciones de PCI y coste.....	46
Tabla 12	Simulación de ahorro en USD incluyendo al TDF en la matriz de combustibles en la línea 2.....	47
Tabla 13	Simulación de ahorro en USD incluyendo al TDF en la matriz de combustibles en la línea 1.....	48
Tabla 14	Pareto.....	54
Tabla 15	Presupuesto para instalación de sistema de alimentación de TDF ..	63

## 1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

En el Ecuador el uso comercial e industrial de los combustibles subsidiados impacta en los precios de producción (Merizalde, 2015), obligando a la industria a buscar medios alternativos para la generación de calor que aporten similares características de combustión y, sobre todo, que sean amigables con el medio ambiente.

#### 1.1.1. Análisis de la industria

Proceso de producción de Cemento

La fabricación del cemento se inicia con el aprovisionamiento de las materias primas (Fig.1), que son precisas para la elaboración del crudo que va a ser posteriormente introducido en el Horno.

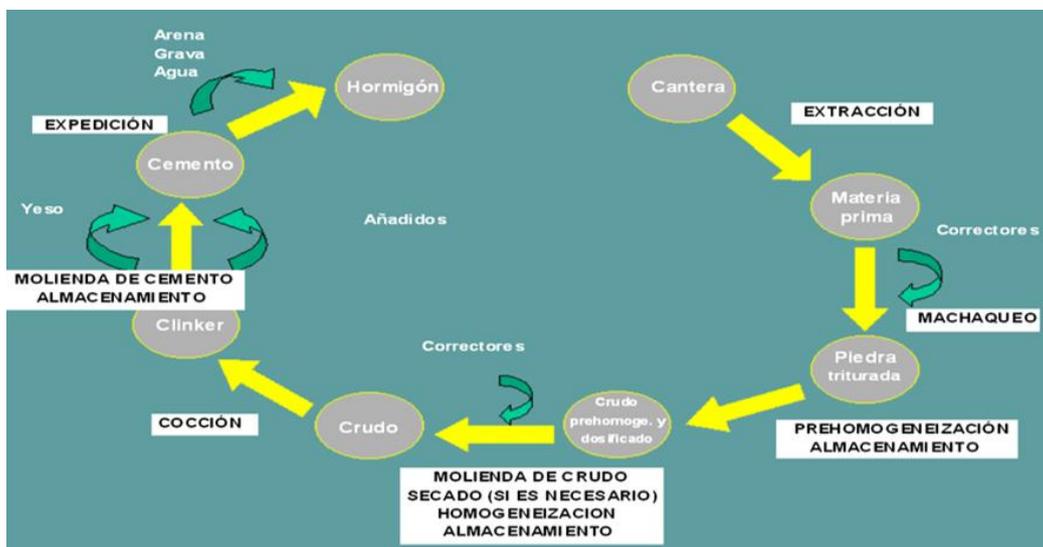


Figura 1 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

El crudo debe estar básicamente compuesto por cal ( $\text{CaO}$ ), alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y óxidos de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Estos componentes son aportados habitualmente por la caliza, arcilla, arena y mineral de hierro, que ejerce la función de fundente y reduce la temperatura de sinterización de los compuestos que posteriormente conformarán el Clinker (Ordóñez, 2007).



Figura 2 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

La introducción de la harina cruda (Fig. 2) se efectúa por la parte superior de la torre de intercambio de calor. En ella, se produce un intercambio de calor en contracorriente entre la harina cruda que cae desde la parte superior y los gases procedentes del horno que ascienden por la torre (Ordóñez, 2007).

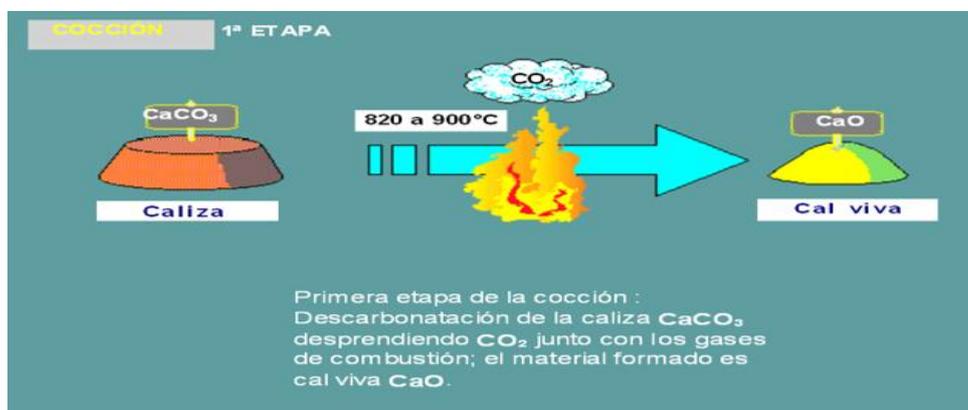


Figura 3 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de (Lafarge, 1991).

Cuando la harina llega al pie de la torre ya se encuentra totalmente descarbonatada (Fig. 3), por lo que entra en el horno en un estado de transformación más avanzado (Ordóñez, 2007).

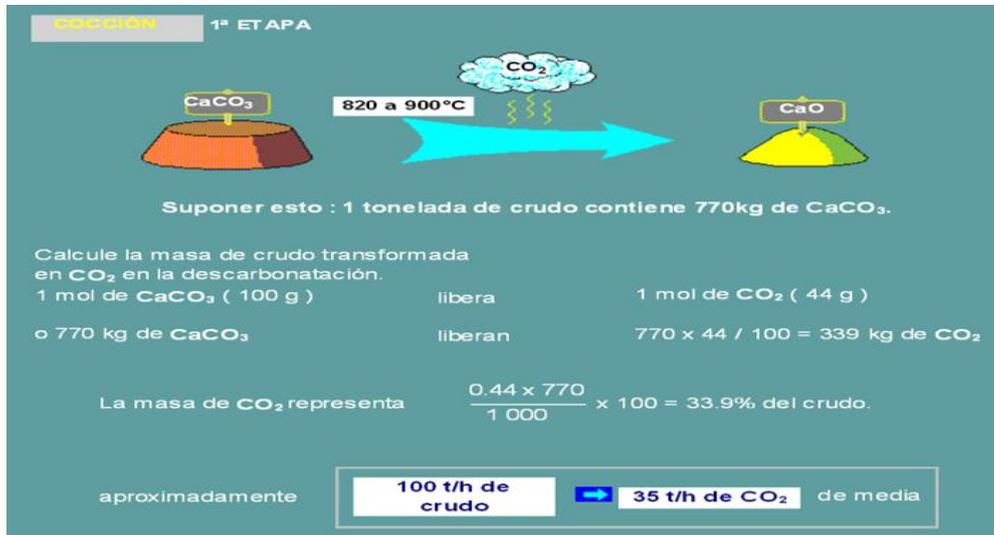


Figura 4 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

El proceso productivo en la etapa de cocción presenta la ventaja de permitir el uso de combustibles de bajo poder calórico y de alto contenido de cenizas (carbón, lignito, desechos tales como neumáticos usados, etc) para su incineración en el calcinador, donde se produce una combustión sin exposición a llama, es decir, a temperatura relativamente baja a  $900^\circ\text{C}$  (Fig. 4), temperatura suficiente para lograr los objetivos de descarbonatación pretendida (Labahn, 1985).



Figura 5 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Con la precalcinación el consumo específico de calor y la temperatura final de los gases aumentan ligeramente (Fig. 5) en comparación con lo que resulta en los hornos con precalentador (Labahn, 1985).



Figura 6 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).



Figura 7 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

El objetivo de los precalentadores y precalcineres en una unidad de calcinación es aprovechar los gases calientes (Fig. 6), para que la descarbonación se logre en su máximo porcentaje.

Ha sido un éxito indiscutible que el precalentador de 4 etapas genere una descarbonación arriba de un 50 %, haciendo que los hornos cada vez sean más cortos (Fig. 7), (LafargeMexico, 2012).

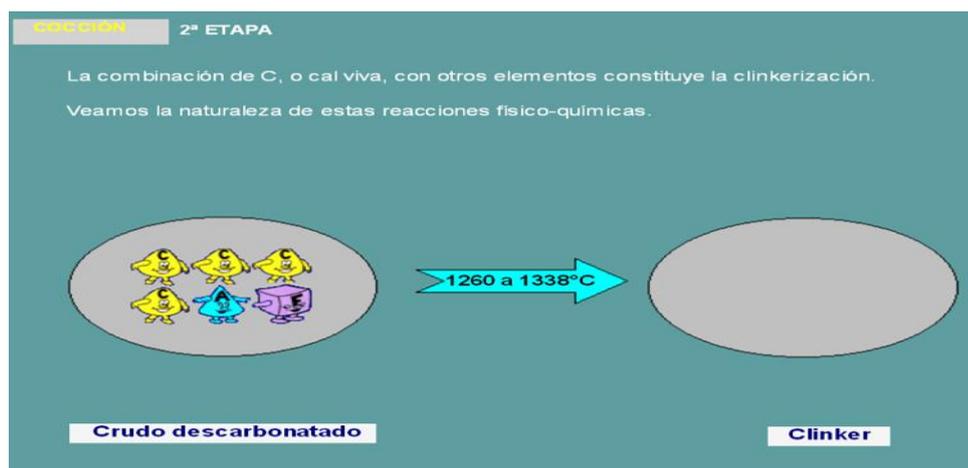


Figura 8 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Esta reacción química tiene lugar dentro del horno en la zona de sinterización y se lleva a cabo a temperaturas elevadas de más de  $1300^{\circ}\text{C}$  (Fig. 8); sin embargo, todas estas reacciones no siempre ocurren por separado. Alrededor de los  $600^{\circ}\text{C}$  se forman compuestos extraños como  $2\text{C}_2\text{S}$   $\text{CaSO}$  o  $\text{C}_3\text{A}$   $\text{CaSO}_4$  (cuando existe fluorita,  $2\text{C}_2\text{S}$   $\text{C}_2\text{F}_2$ ), que ya en la zona de clinkerización se descomponen dando origen los 4 compuestos principales:

Alita ( $\text{C}_3\text{S}$ ), Belita ( $\text{C}_2\text{S}$ ), Aluminato tricalcico ( $\text{C}_3\text{A}$ ), Ferroaluminato Tetracalcico ( $\text{C}_4\text{AF}$ ) (LafargeMexico, 2012).

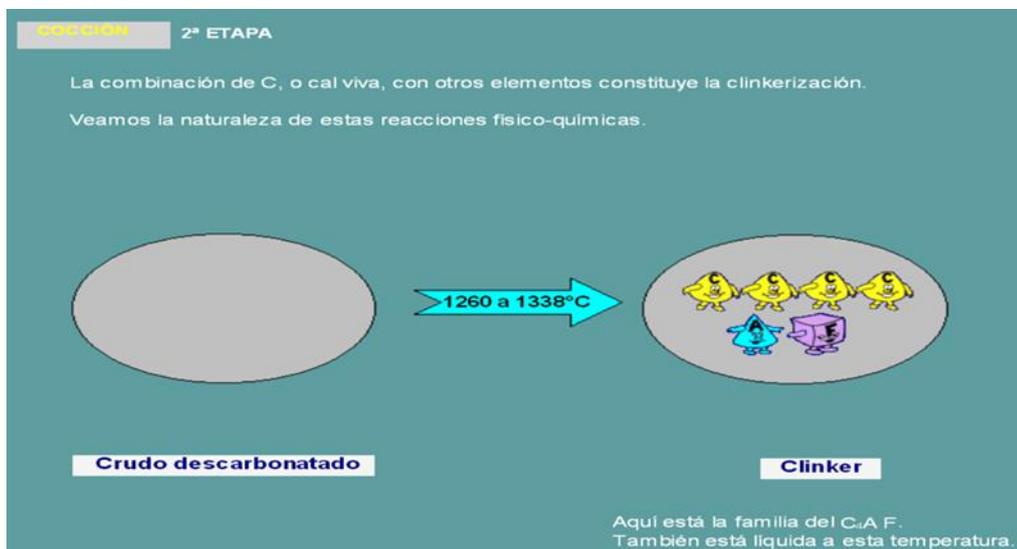


Figura 9 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Ha sido demostrado ampliamente en el laboratorio que entre más alta sea la finura la temperatura es más baja y el cristal del  $\text{C}_3\text{S}$  es más pequeño (Fig. 9), sin embargo, hay límites como puede ser el arrastre de polvo que se incrementa con material más fino en la unidad de calcinación y un aumento en el costo de la molienda de crudo (LafargeMexico, 2012).

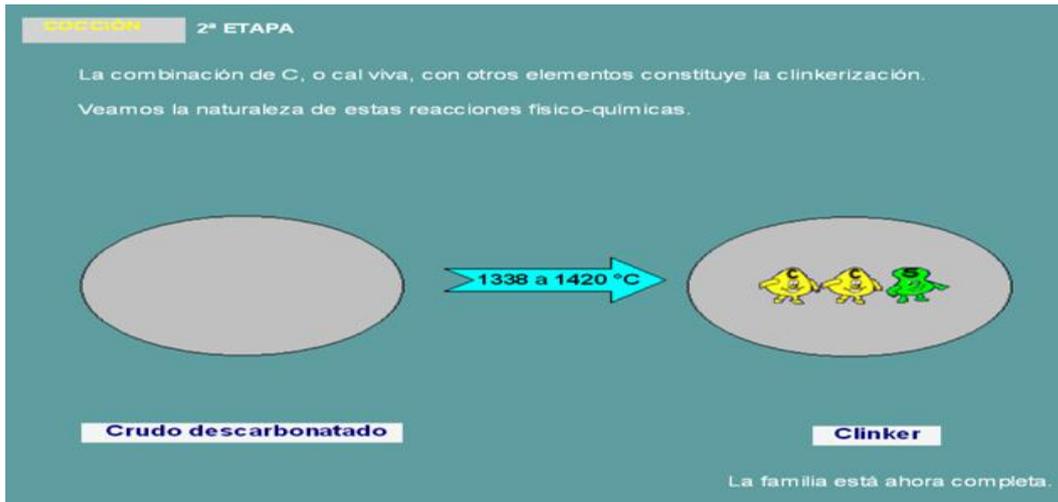


Figura 10 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Las resistencias producidas hasta 28 días es el resultado de la hidratación del C3S alita; el grado de hidratación está dado por el área superficial del cemento (Fig. 10), es decir, qué tan fino se muele, pero también por la reactividad intrínseca de los cristales (LafargeMexico, 2012).

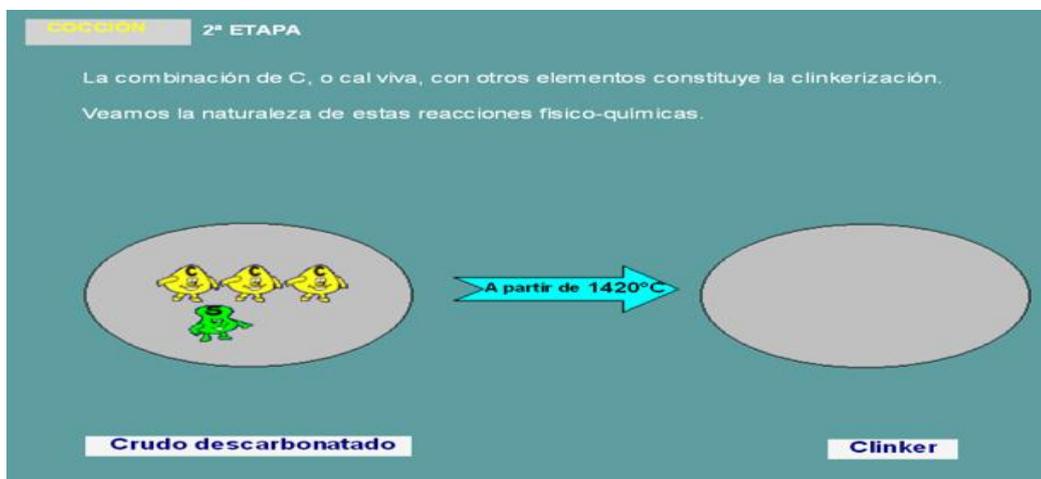


Figura 11 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

En esta última propiedad se ha demostrado que el tamaño de cristal influye notablemente en su reactividad (Fig. 11) (LafargeMexico, 2012).

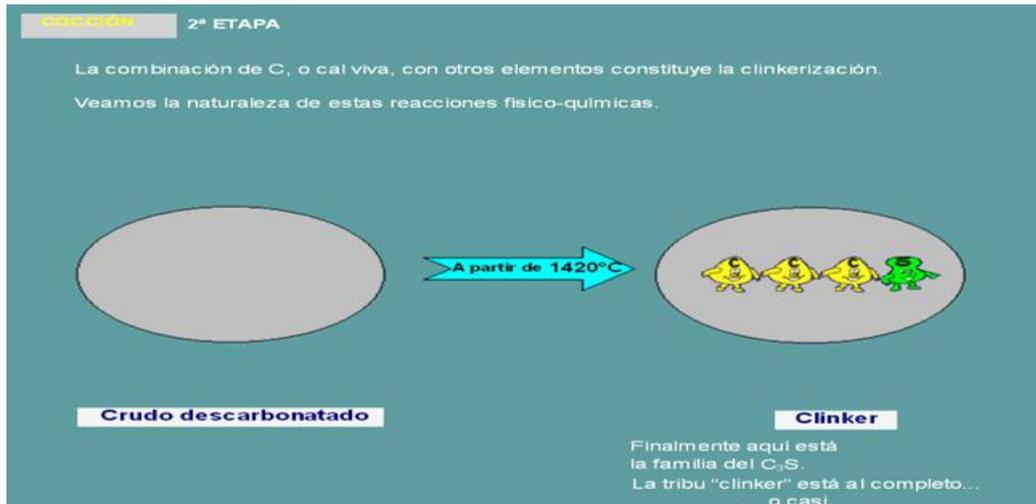


Figura 12 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

En una mezcla de más alta temperatura el líquido fundente es menos viscoso, por lo tanto, la disolución de cal y sílice es más activa (Fig. 12), por consiguiente, el cristal de  $C_3S$  es más grande (LafargeMexico, 2012).

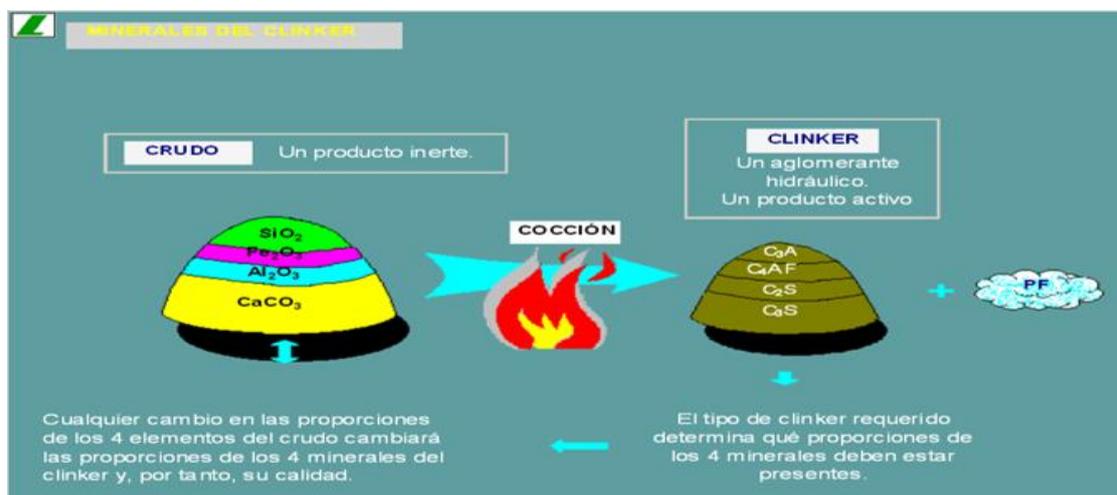


Figura 13 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Los primeros hornos de cemento usaron el sistema húmedo, lo cual fue favorecido durante muchos años por la cantidad de agua de mezcla en la obtención del crudo, (llegaba hasta un 40 %), y el consumo de combustible era muy elevado (hasta 8500 Kcal/Kg de Clinker) (Zarate, 1996).

El desarrollo de los sistemas precalentadores ocurrió en Europa, particularmente en Alemania; se presenta en ésta región ya que las materias primas eran relativamente secas y no había abundancia de combustibles sólidos o líquidos baratos, lo que constituyó un punto a favor de la economía térmica. Hacia fines de la década de los años 1920, Otto Lellep logró operar el primer sistema de precalentador con Parrilla Lepol que supone adición de 15 % de agua para formar un módulo de harina cruda que es precalentada y parcialmente decarbonatada, haciendo pasar gases de combustión a través de una cama de bolitas en una Parrilla sin fin de constante movimiento (LafargeMexico, 2012).

Tuvieron que pasar algunos años y en el año de 1934, fue presentada la primer patente para un precalentador con ciclones por Voger Jurgesen, un empleado de F.L Smidth; sin embargo, no fue hasta el 12 de mayo de 1953 cuando el primer Horno Rotatorio de cemento fue equipado con un precalentador de ciclones, construido por Klockner Humbolt – Deutz e instalado en la planta de cemento de Beckum Alemania. Este fue un precalentador de 4 etapas muy similar a los precalentadores usados hoy en día y montado en un horno de 3.2 metros de diámetro por 40 metros de largo. A pesar de las ventajas de este nuevo proceso y de la utilización de los gases en el secado, solo 9 plantas cementeras fueron construidas hasta 1959 por parte de KHD, sin embargo, desde 1966, todos los principales productores de equipos para plantas de cemento incluyeron precalentadores de suspensión en sus ofertas de productos (Valero, 2011).

En los precalentadores de suspensión convencional, el crudo sufre una decarbonatación que puede llegar al 50 %; actualmente, con el uso de precalcinadores, se pueden lograr decarbonataciones hasta de un 90 % en la zona del precalentador (Fig. 13), relevando al horno de carga térmica y alcanzando mayores producciones con menos consumo de Kcal/Kg Clinker (Valero, 2011). Como ya se vieron anteriormente, las 2 posibles formas de

intercambio de calor entre los gases y el polvo son el flujo en contracorriente y flujo en paralelo.

La superioridad del intercambio a flujo en contracorriente es evidente, esto dentro de un precalentador no es práctico por la velocidad a la cual hay que mantener el gas. Los precalentadores utilizan básicamente el intercambio en sus ductos de flujo en paralelo, y lo que se hace para mejorar la eficiencia térmica es dividir el sistema de flujo paralelo en varias etapas (en la actualidad lo normal son divisiones de 4 etapas) (Valero, 2011).

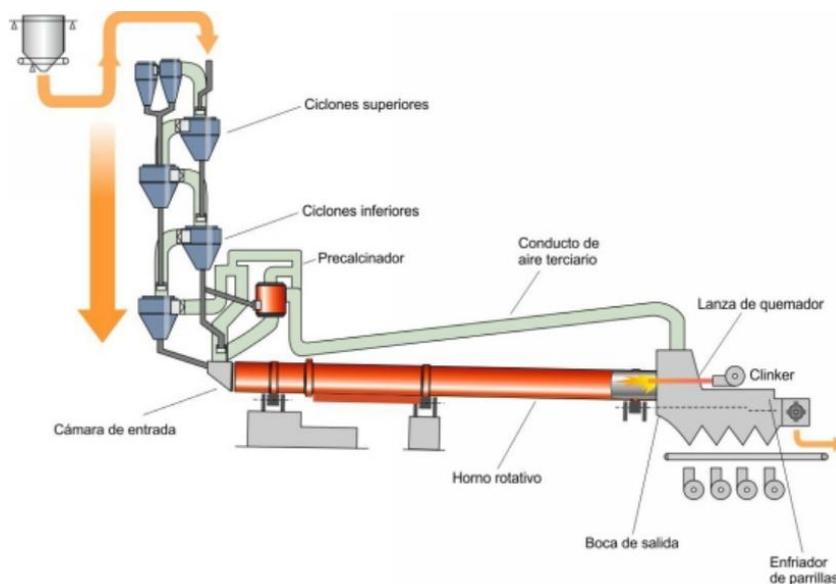


Figura 14 Esquema sistema precalcinador  
Tomado de: (Labahn, 1985)

Cuando los gases de combustión salen del horno a una temperatura promedio de  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  se mueven en sentido ascendente a través de las etapas 4, 3, 2 y 1 y son retirados finalmente del sistema por un ventilador de tiro inducido (Fig. 14). La harina cruda se alimenta dentro del ducto entre los ciclones 1 y 2, siendo arrastrada por la corriente de gases hacia la etapa del doble ciclón 1 donde, después de ser separado del gas, se descarga en la parte superior del ducto de gases entre las etapas 3 y 2, llevada por la corriente de gas a la etapa del ciclón 2, para volver a ser separada del gas y caer al ducto de

interconexión entre la etapa de los ciclones 4 y 3; este proceso se repite hasta que el material es alimentado dentro del horno.

La transferencia de calor tiene lugar en los 4 ductos ascendentes de los gases en un flujo paralelo, con la finalidad de que los ciclones separen el polvo y el gas después del intercambio de calor.

En la siguiente (tabla No. 1), se ilustran los rangos de temperatura de gases y material en un sistema de precalentador en suspensión de 4 etapas sin precalcinador (LafargeMexico, 2012).

Tabla 1

*Acondicionamiento de materiales en Torre de ciclones*

<b>ETAPAS</b>	<b>SALIDA DE GAS</b>	<b>SALIDA DE MATERIAL</b>
HORNO	1010 – 1090 °C	-----
4ª. ETAPA	810 – 840 °C	790 – 820 °C
3ª. ETAPA	690 – 720 °C	650 – 680 °C
2ª. ETAPA	530 – 560 °C	490 – 520 °C
1ª. ETAPA	330 – 360 °C	300 – 330 °C

Tomado de: (LafargeMexico, 2012).

La diferencia de temperaturas en las etapas de ciclones que se da entre los gases y el material harina cruda que salen de cada ciclón deberá ser del rango de 20 a 40 °C aproximadamente, lo que nos demuestra que la transferencia de calor en los ductos ascendentes es muy favorable y que hay escasas posibilidades de mejorar en la utilización general del calor al incrementar la eficiencia de etapas individuales. Cualquier incremento en la diferencia de temperaturas entre el material y el gas es un medio indicativo de que existe alguna anomalía en el sistema (LafargeMexico, 2012).

Al mantener el perfil de temperaturas en el precalentador se obtendrá:

- 1.- Una correcta descarbonatación
- 2.- Factibilidad de mayor producción

Logrando un perfecto perfil de temperaturas (Fig. 15), se entregará al horno un material adecuadamente descarbonatado y se podrá tener un mejor y más balanceado sistema Horno – Precalentador (Zarate, 1996).



Figura 15 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Combustibles utilizados en la producción de Cemento:

Los combustibles del proceso de producción se clasifican en diferentes estados según sus características físicas y agregación (Fig. 16) (Duda, 1977).



Figura 16 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Los costes de inversión para los tipos de instalaciones de abastecimiento de carbón o Petcoke son veinte veces más costosas que las de fuel Oil y gas natural. Otro ejemplo de inversiones cuando se manejan costes de transporte con gas natural suelen ser de tres a cinco veces menores que las del fuel Oil (Duda, 1977).

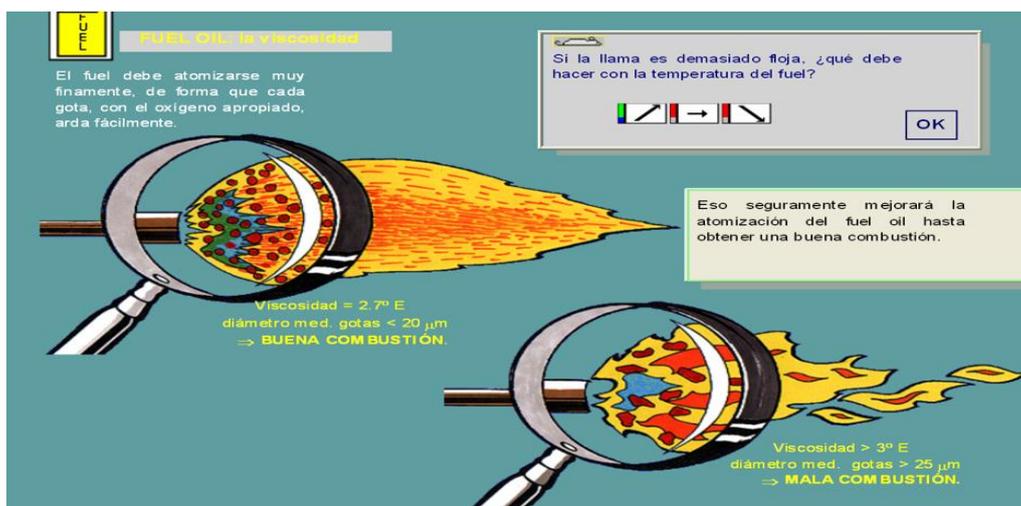


Figura 17 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

En la mayoría de los quemadores de combustóleo existen mecanismos que nos permiten hacer grandes cambios en las características de la flama (Fig. 17); estos cambios tienen un efecto considerable en el régimen de quemado del horno y aún más importante en la vida del refractario.

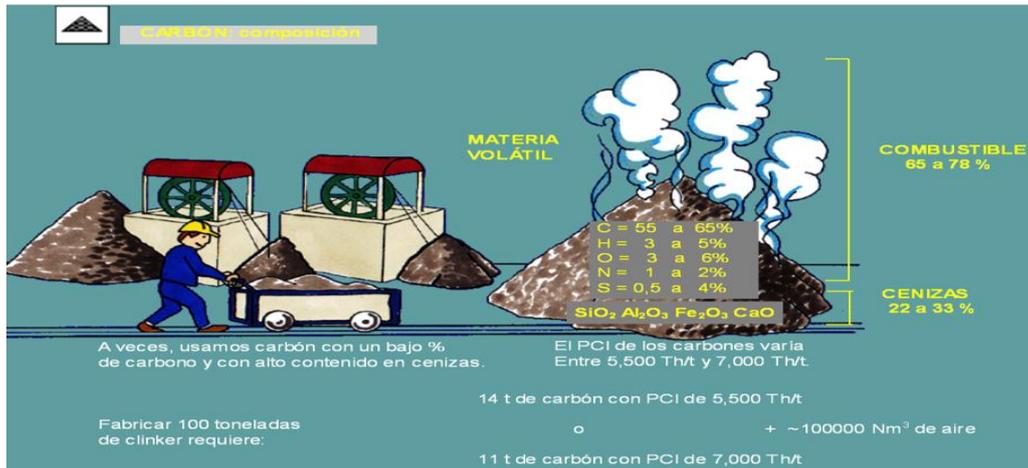


Figura 18 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Con las exorbitantes elevaciones de los costes del fuel-oil y del gas natural, registradas a partir de los primeros años de la década de los 70, se ha regresado al carbón como combustible (Fig. 18) para los sistemas de quemadores industriales, incluyendo los hornos para la fabricación de cemento (Labahn, 1985).

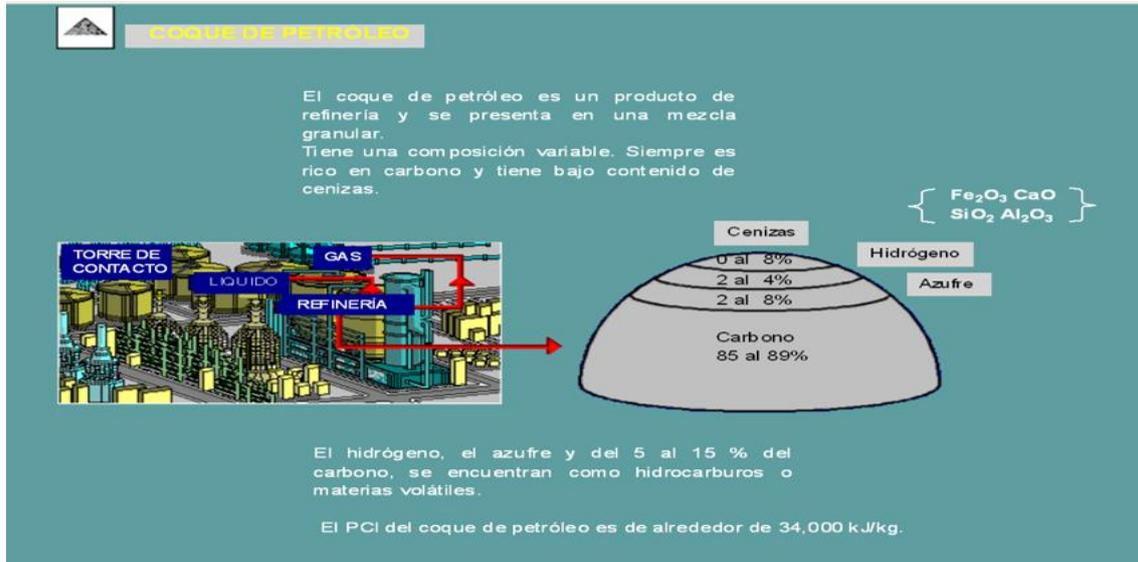


Figura 19 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

El carbón como tal contiene, generalmente, de 4 a 12% de humedad, y normalmente se seca conjuntamente con su molienda; los gases calientes (Fig.19) para el secado del carbón se toman del cabezal del horno (Labahn, 1985).

	FUEL OIL	CARBÓN	GAS NATURAL	COQUE
Composición	Sin cenizas Azufre	Cenizas hasta 30 % Poco azufre	mezcla de metano principalmente y etano	Bajo contenido en cenizas Azufre
Requisitos Para su uso	Calentamiento	Molienda	Liberación de presión	Molienda
Calidad del clinker	Pequeñas modificaciones	Combinación de cenizas con la cal.	Ninguna modificación	Pocos cambios
Incidentes	Riesgo de concreciones a causa del azufre	Difícil ajuste de la llama Finura	Ajuste de la llama muy difícil porque apenas se aprecia	Riesgo de concreciones Finura
PCI	~ 10000	5900 a 7000	~ 11490	~ 800

Figura 20 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

En relación con el aumento experimentado por la valorización energética (Fig. 20), merece ser analizado con detenimiento el principal uso que es la producción calorífica para la fabricación de cemento (Sanchez, 2011).

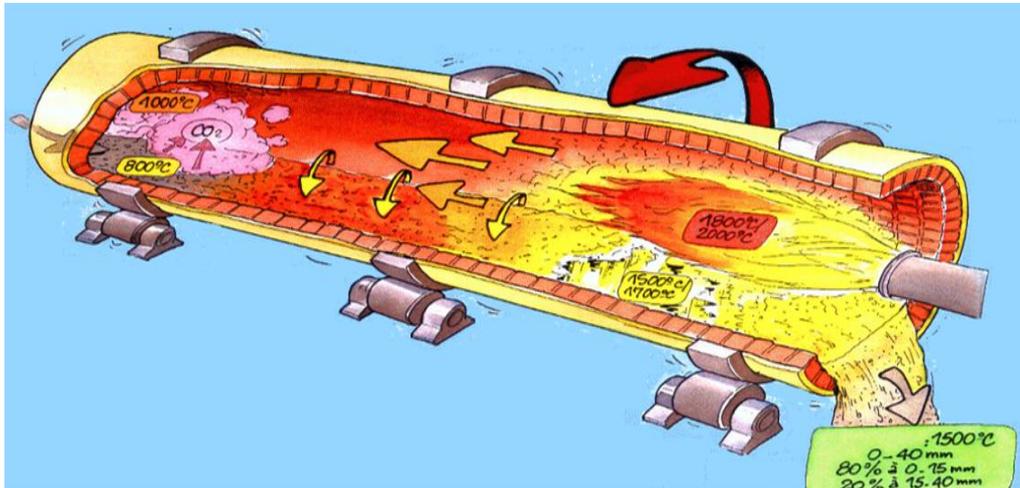


Figura 21 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Al utilizar combustibles procedentes de residuos se consigue ahorrar 362.000 toneladas de petróleo como ahorro energético (Fig. 21); esta cantidad representa el consumo energético anual de 517.000 hogares, como también demuestra un ahorro en emisiones de CO<sub>2</sub> de 752.642 toneladas, debido al contenido de biomasa de éstos (Fig. 24) (Sanchez, 2011).



Figura 22 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

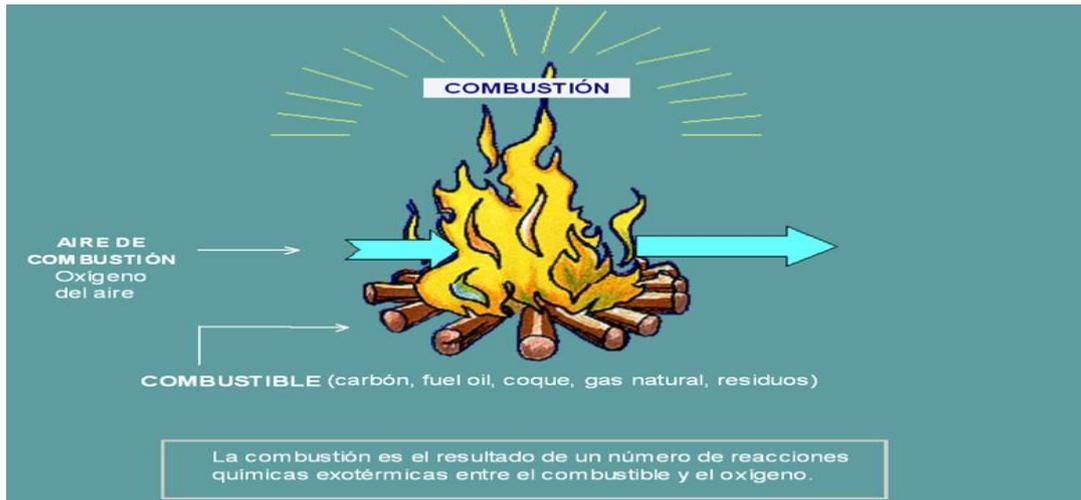


Figura 23 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

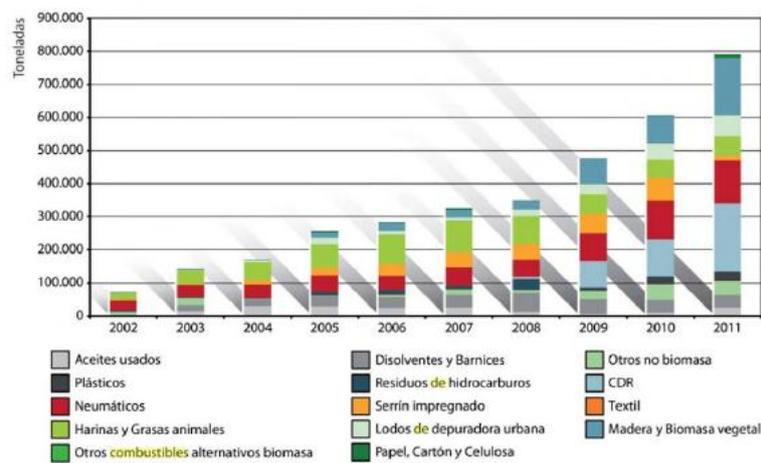


Figura 24 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Evolución en el uso de combustibles alternativos en 2011 (Fig. 24) en España. (Oficemen, 2011)

En la utilización de neumáticos como sustitutos de los combustibles se observa un aumento desde 1999, año en el que comienza su utilización a gran escala. (Oficemen, 2011)

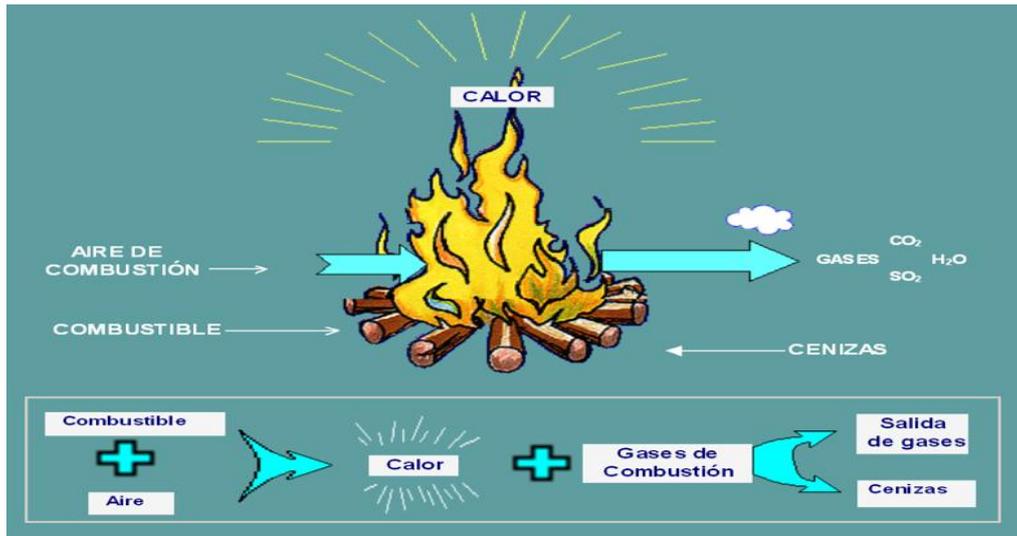


Figura 25 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Gases emitidos al medio ambiente producto del proceso productivo de Cemento:

**IMPORTANCIA DE LAS EMISIONES GASEOSAS**

Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) que producen nuestras cementeras son nuestra mayor preocupación.

¿Por qué?

Porque como el  $\text{CO}$  y el  $\text{CO}_2$ , estos gases contaminan el aire.

Estos contaminantes tienen un efecto perjudicial sobre la salud y contribuyen a:

- La lluvia ácida,
- El efecto invernadero,
- Polución fotoquímica (contaminación de las capas más bajas de la atmósfera).

Figura 26 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Durante la elaboración de cemento, las emisiones de  $\text{CO}_2$  prevalecen en la producción de Clinker o la llamada fase de clinkerización (Fig. 25). El material Clinker es un producto elaborado intermedio que resulta de la calcinación a

altas temperaturas de materiales como carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y óxido férrico ( $\text{FeO}_3$ ) (Fig. 26), (naturales, 2002).

**IMPORTANCIA DE LAS EMISIONES GASEOSAS**

La normativa es diferente de un país a otro, pero en el futuro la mayoría se ajustará a los siguientes niveles máximos:

- $\text{NO}_x$ : 500 mg /  $\text{Nm}^3$
- $\text{SO}_2$ : 400 mg /  $\text{Nm}^3$

Estas cifras se expresan en miligramos por Normalmetro cúbico (temperatura normal: 0 °C y presión normal: 760 mm Hg), conteniendo los gases un 10%  $\text{O}_2$  (11% en Norte América).

Empecemos con el " $\text{NO}_x$ "

Figura 27 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Existen también emisiones de  $\text{SO}_2$  (Oxidos de azufre) que corresponden al azufre que se encuentra en los combustibles y en la arcilla de la materia prima. Sólo el azufre proveniente de la arcilla se contabiliza como emisiones de dióxido de azufre (Fig. 27), ya que el contenido de azufre en el combustible deberá ser estimado independientemente, es decir los aportes deben contabilizarse por separado (naturales, 2002).

**PROCESOS DE FORMACIÓN DEL  $\text{NO}_x$**

Como su propia fórmula indica, estos gases son óxidos de nitrógeno.

Ya que son óxidos distintos, la "x" de  $\text{NO}_x$  representa el número de átomos de oxígeno contenidos en la molécula.

Hay 3 tipos diferentes de óxidos de nitrógeno producidos por nuestras cementeras:  
 $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$

En las siguientes proporciones:

- $\text{NO}$ : 95%
- $\text{NO}_2$ : < 5%
- $\text{N}_2\text{O}$ : < 1%

Como se puede ver, las cantidades de  $\text{NO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$  son insignificantes. Por lo tanto sólo trataremos del  $\text{NO}$ .

Figura 28 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Las emisiones de NOx se generan durante la fabricación de ácido nítrico (Fig. 28) y se dan, en menor medida, en la procesos productivos como; petroquímicos, hierro y acero, ferroaleaciones, aluminio, celulosa y papel, y en la pavimentación asfáltica (ecología, 2010)



Figura 29 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

El primer agente contaminante y visible que es percibido por los vecinos de las comunidades de las plantas de cemento es el polvo o materiales particulados, ya que su emisión es difícil de controlar cuando existen desperfectos o fallas en la operación. El segundo agente contaminante es el nivel de ruido, en especial si la planta se encuentra cerca de zonas habitadas. El tercer agente contaminante es el impacto visual negativo que las plantas producen en el paisaje, sobre todo en las minas de explotación de materias primas. Sin embargo, las contaminaciones menos visibles, los gases de combustión (NOx, SOx, COx) (Fig. 29), son tal vez más importantes que todo lo anterior (Leal, 2005).

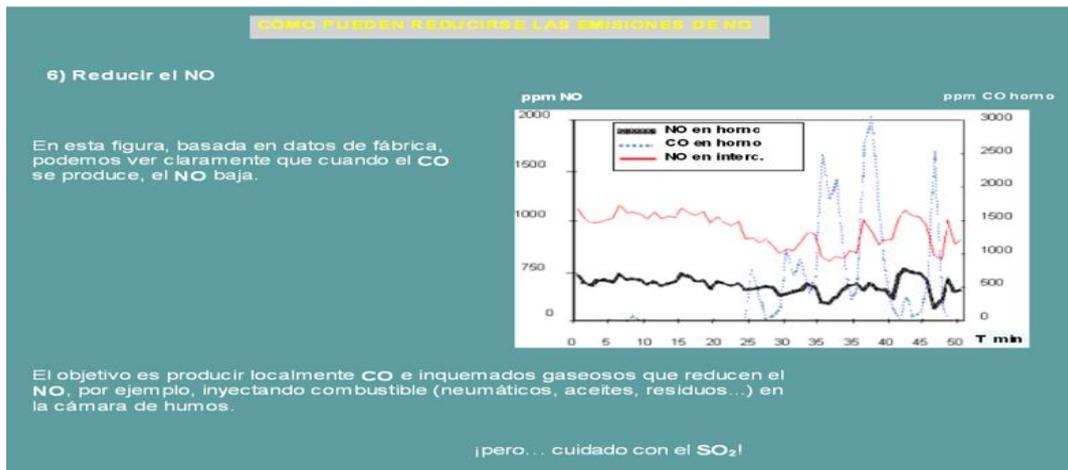


Figura 30 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Las líneas productivas modernas tienen equipos quemadores a bajo contenido de NO<sub>x</sub> (Fig. 30); también cuentan con sistemas de precaución y sistemas automáticos que reducen las emisiones. Las emisiones de SO<sub>x</sub> se pueden limitar y controlar eligiendo materias primas y combustibles que no contengan sulfuros. Cuando esto no es posible por la disponibilidad de materiales, se pueden usar sistemas para filtrar el sulfuro en los hornos, es decir, usar equipamientos de alta tecnología como se hace en las centrales eléctricas. La manera más sencilla de evitar estos gases es eliminar totalmente la combustión del proceso (Leal, 2005).

**MECANISMOS DE FORMACION DE SO<sub>2</sub>**

Veamos ahora otro contaminante: el SO<sub>2</sub>.

Dióxido de azufre, o SO<sub>2</sub> para los químicos, es un gas producido por los elementos sulfúricos contenidos en:

- Crudo
- Sulfuros (pirita, por ejemplo)
- Sulfatos (yeso, por ejemplo)
- Combustible, se encuentra sobre todo como sulfuros orgánicos.

Como norma general, la mayor parte del SO<sub>2</sub> se origina por el combustible.

Obviamente, estas emisiones deben reducirse. Además, los altos niveles de azufre en el clinker perjudican a la molturabilidad y puede afectar al impacto de la adición de yeso posteriormente.

Figura 31 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Los SO<sub>x</sub>, proceden además del combustible (Fig. 31), como el caso del fuel-oil, como también de las materias primas (el SO<sub>x</sub> procedente del sulfuro es más difícil de capturar por el propio Clinker) (Elías X. , 2012).

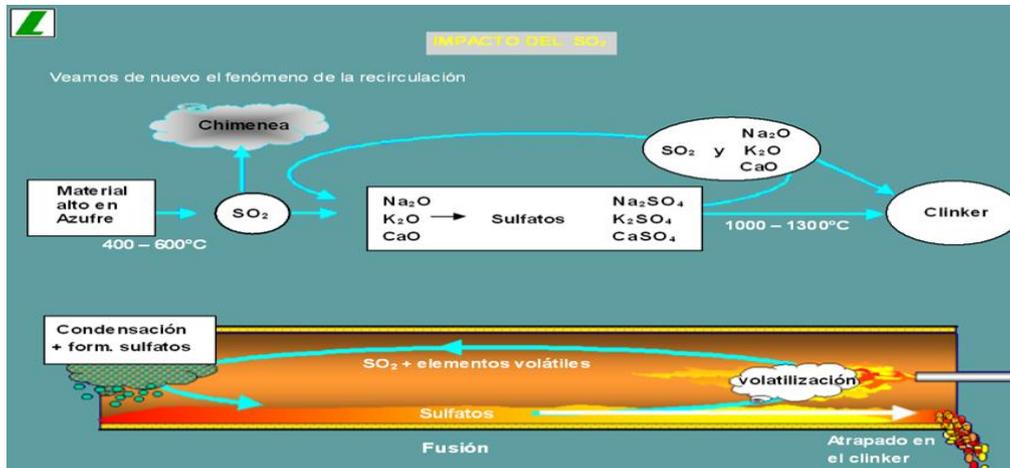


Figura 32 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

Los metales pesados están presentes en todas las materias primas y combustibles, sin embargo, su impacto se puede potenciar debido a la incorporación de ciertos residuos. Los acuerdos de reducción de contaminación voluntarios firmados por las empresas cementeras y la progresiva eficacia de los filtros colectores de polvo reducen su impacto (Fig. 32), cuyo principal vector es el material particulado (Elías X. , 2012).

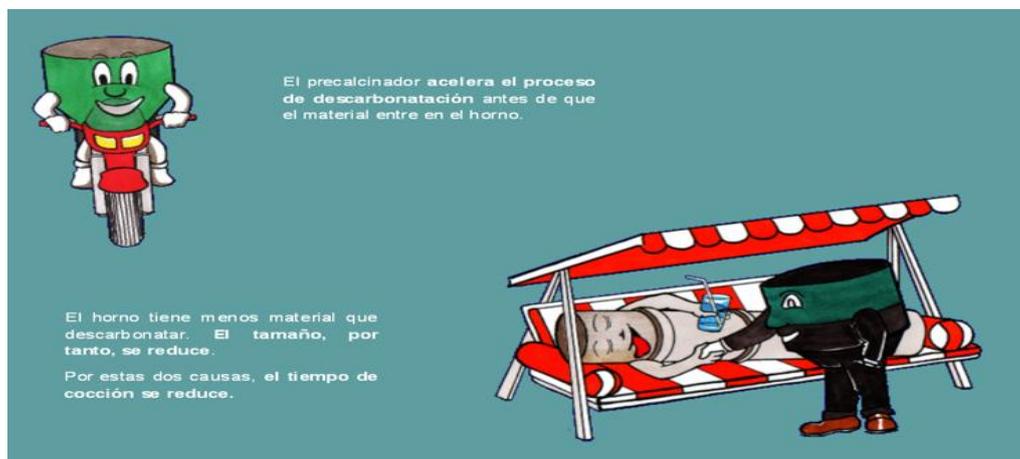


Figura 33 Proceso de elaboración de cemento

Tomado de: (Lafarge, 1991).

La sustitución de combustibles fósiles por residuos (Tires derived fuel, TDF), va aumentando cada año pero es aún escasa en España en comparación a Holanda, Suiza, Francia, Austria, Bélgica o Alemania, que son países donde los sistemas de gestión de residuos llevan décadas orientados a prevenir los inadecuados modelos de gestión ambiental para aprovechar la capacidad de tratamiento de las fábricas de cemento (Fig. 33).

Países como: Alemania, Noruega, Suecia, Austria, Bélgica o Suiza sustituyen más del 40% de sus combustibles fósiles por residuos de todo tipo y aporte calórico; Holanda ha llegado a sustituir más de un 80% (Elías X. , 2012).

### **1.1.2. Análisis del Marco Legal**

“El precio de venta en terminal para los productos GLP para uso comercial e industrial, Diésel 2, Diésel Premium, gasolinas y Fuel Oil No. 6, para el sector industrial, a excepción de las cuantías domésticas, será determinado en forma mensual por la EP PETROECUADOR, en base al costo promedio ponderado más los costos de transporte, almacenamiento, comercialización, un margen que podrá definir la indicada empresa pública y los tributos que fueren aplicables” (Ejecutivo, 2015).

#### Prevención y control de desechos Peligrosos y Especiales

“Los reglamentos vigentes del Ecuador describen los principios que rige la Normativa Ambiental para prevención y control de la contaminación por sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales, entre los cuales se encuentra la responsabilidad del Fabricante-importador de neumáticos y la corresponsabilidad del comercializador-distribuidor sobre sus pasivos ambientales” (Acuerdo Ministerial 20MAE, 2013).

“La Autoridad Ambiental Nacional expedirá políticas, programas, Planes de Gestión Integral de Neumáticos Usados y proyectos como mecanismos de

coordinación transectorial, integración y cooperación ente los distintos ámbitos de gestión ambiental” (RegistroOficial856MAE, 2012).

“Las llantas usadas son consideradas como Desechos Especiales, según el listado nacional de desechos especiales de la República del Ecuador, la categoría implica que la regularización ambiental en cuanto a la gestión de transporte y/o almacenamiento son sujetos de categorización de acuerdo al artículo 15 del SUMA, lo cual implica que podría ser Ficha Ambiental o Licencia Ambiental, dependiendo del análisis técnico, si se interpreta como sistema de eliminación o disposición final, son regulados a través de una licencia ambiental” (RegistroOficial856MAE, 2012).

“Los reglamentos para la Prevención y Control de la Contaminación y Control de la Contaminación por Sustancias Químicas Peligrosas, Desechos Peligrosos y Especiales, describe los principios que rigen en la Normativa Ambiental aplicable, entre los cuales se encuentra el de la responsabilidad extendida del productor, el artículo 199 describe como una obligación del importador y/o productor presentar programas de gestión integral de desechos peligrosos y especiales” (RegistroOficial856MAE, 2012).

“Será requisito demostrar el cumplimiento de los planes de gestión de los desechos peligrosos mediante la presentación de un informe anual a la Autoridad Ambiental Nacional” (AcuerdoMinisterial20MAE, 2013).

“Mediante el informe técnico de la Autoridad Ambiental, se define presentar un instructivo para promover la responsabilidad extendida y aplicar una gestión integral de neumáticos usados en el Ecuador, para disminuir el impacto negativo de este efecto de desecho en la salud y el Ambiente.

El plan de Gestión Integral de Neumáticos Usados, deberá cumplir con metas graduales de recolección, partiendo el primer año con una meta mínima del 20% calculada del total de neumáticos importados y del total de neumáticos

fabricados que han sido puestos en el mercado, este porcentaje mínimo será evaluado y recalculado anualmente de acuerdo al avance de implementación de los planes aprobados o al requerimiento nacional de incrementar la recuperación de este tipo de desechos y de esta manera fomentar el reciclaje, la recuperación de materiales y otras formas de valorización, con la finalidad de proteger el ambiente. La Autoridad Ambiental Nacional incrementará dicho porcentaje de recolección mediante el respectivo Acuerdo Ministerial” (Acuerdo Ministerial 20MAE, 2013).

“Para el cumplimiento de las metas establecidas en el párrafo anterior se tomará en cuenta el total de neumáticos importados y fabricados correspondientes al año anterior de ser aprobado el Plan de Gestión.

La meta de recolección para los importadores y fabricantes en la provincia de Galápagos, será del 100% de los neumáticos puestos en el mercado” (Acuerdo Ministerial 20MAE, 2013).

### **1.1.3. Planteamiento y formulación del problema**

La industria cementera utiliza una matriz de combustibles sólidos y líquidos para la generación de energía térmica en la producción de sus materias primas elaboradas.

La contribución de un nuevo combustible sólido proveniente de un pasivo ambiental disminuye el consumo del combustible líquido, que actualmente es el problema de carácter económico principal (Sobeida, 2010). Las empresas Cementeras enfrentan este tipo de problemas que, por su alto costo y principal consumo en el proceso, encarece el producto más aún cuando el gobierno de turno ha eliminado los subsidios de los combustibles líquidos para el sector industrial (Araujo, 2015).

La disponibilidad del TDF (Tire derived fuel combustible derivado de llantas), para el abastecimiento continuo en el proceso de calcinación en los hornos cementeros dependerá del cumplimiento de los planes de gestión determinados por la autoridad ambiental para los neumáticos usados, auditando las responsabilidades de gestores, distribuidores e importadores (Acuerdo Ministerial 20MAE, 2013).

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Contribuir a la matriz energética para la elaboración de Cemento, incluyendo un nuevo combustible de más bajo costo.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Disminuir el consumo del Crudo residual (Fuel Oil) por pasivos ambientales que aporten energía calórica.

Diseñar e instalar un sistema para alimentar TDF al Proceso de Calcinación de una Planta cementera.

Aportar con la destrucción de un pasivo ambiental, transformándolo en energía.

Abastecer materiales de tipo combustible alternativo provenientes de los residuos peligrosos y no peligrosos de otros sectores industriales para el proceso productivo de cemento. Analizar en los combustibles que ingresen al sistema el; poder calórico, estabilidad en el proceso de producción, calidad del producto, factor económico, afección a los equipos principales para demostrar si es conveniente introducirlos en la matriz de combustibles o no.

Declarar ante la autoridad ambiental que los resultados del coprocesamiento se encuentren dentro de los rangos permisibles de emisiones al medio ambiente.

### **1.3. Planteamiento de la hipótesis**

La inclusión del TDF como combustible dentro de la matriz energética para elaboración del cemento es factible desde el punto de vista de eficiencia energética, económica y ambiental.

### **1.4. Marco metodológico de la investigación**

Los datos de emisiones del proceso de cemento son valores obtenidos en línea para el control y seguimiento del Ministerio de Ambiente.

Anualmente se realizan estudios de Dioxinas y Furanos (ver anexo 3) como principal indicador de un proceso ambientalmente responsable, información disponible para el caso de estudio mostrando línea base y límites máximos permisibles de gases y materiales particulados emitidos en la línea de proceso. Una vez obtenida la información del estudio de emisiones con la nueva matriz de combustibles (incluido el TDF), se puede demostrar una estabilidad en el proceso y los nuevos valores de emisiones (que deben estar dentro del rango permisible).

Los valores de aporte de energía también son medidos de acuerdo a las muestras de material dispuestas por los gestores ambientales; los datos de incidencia del TDF pueden demostrar una variabilidad en la estabilidad del proceso de producción de Clinker.

Por lo citado, se requiere una muestra considerable de material para ser introducido al proceso de calcinación en el momento justo del monitoreo anual de emisiones (ver anexo 3).

## 2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco Referencial

El Marco referencial describe el proceso de elaboración del Cemento y su cadena de valor de manera que se podrán identificar los objetivos del caso de investigación; se puede entender también como influyen los procesos de soporte en los procesos de valor en un entorno donde el principal objetivo será la producción limpia y el co procesamiento. Cadena de valor Fig. 34

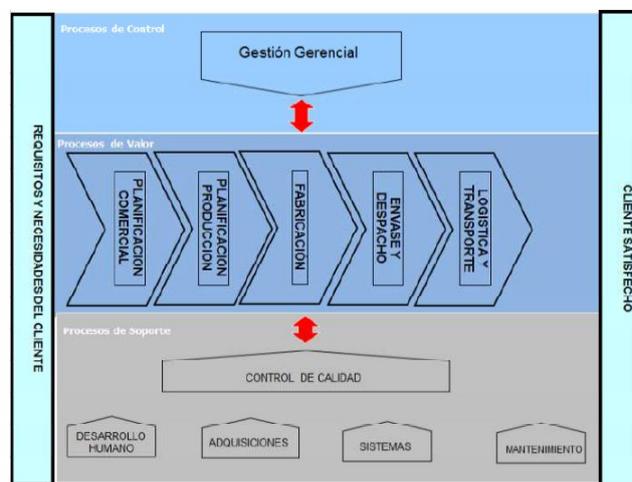


Figura 34 Cadena de Valor

Tomado de: (Lafarge, SGI, 2006).

Procesos de valor

#### 2.1.1.1. Planificación Comercial

El Proceso de Planificación Comercial debe garantizar el volumen de producto definido en su plan anual de ventas; la cadena de valor comienza con el requerimiento del Cliente y se mide su desempeño mediante el porcentaje de clientes satisfechos a través de encuestas trimestrales. El proceso de Planificación Comercial se medirá por su cumplimiento en los volúmenes de materiales gestionados versus su presupuesto anual, registrando un seguimiento mes a mes (Lafarge, SGI, 2006).

### 2.1.1.2. Planificación de la Producción

La Planificación de la Producción usa los datos obtenidos por el proceso de Planificación Comercial para gestionar sus abastecimientos en cuanto a recursos para la producción de los materiales demandados, teniendo como principal objetivo el cumplimiento del Plan de Producción y utilizando como aliados a los procesos de soporte para abastecer al cliente; entre sus indicadores principales son considerados las cantidades necesarias de materias primas, productos elaborados, subproductos e insumos de fabricación como: combustibles líquidos, sólidos y alternativos, de los cuales se revisa su stock en Planta industrial mes a mes (Lafarge, SGI, 2006).

### 2.1.1.3 Fabricación

El Proceso de fabricación es el responsable de la transformación de las materias primas de acuerdo a los requerimientos del Plan de Producción; sus indicadores principales son los inventarios de productos, subproductos, insumos y consumos de energía para la elaboración de Cemento.

Debido a la importancia del control de este proceso, la estrategia se basa en la sostenibilidad de equipos, operaciones que son ligadas al cumplimiento estricto de las normas ambientales y se encuentran definidos como principales objetivos en la política de gestión integral de la empresa.

La operación continua del proceso productivo es medida en su estabilidad para garantizar calidad y volúmenes de producción (Lafarge, SGI, 2006).

$$Fiabilidad \cdot proceso = \frac{Horas \cdot de \cdot operación \cdot reales}{Horas \cdot de \cdot operación \cdot planificadas} \cdot 100\%$$

El consumo de energía térmica es un valor clave para la eficiencia de la producción, se lo mide por tonelada de Cemento producida.

$$MJ / ton = \frac{MJ \cdot consumidos}{Toneladas \cdot totales \cdot producidas \cdot de \cdot clínker}$$

#### **2.1.1.4 Envasado y Despacho**

Este proceso se encuentra al final de la cadena de valor siendo uno de los procesos más importantes por estar ligado a la satisfacción del cliente, y es donde son más perceptibles los cumplimientos, siendo sus objetivos principales el cumplimiento de despachos planificados pero, aún más, la optimización en los tiempos de espera con la flota de vehículos de carga de cemento en sacos y a granel; también se mide el índice de roturas de sacos y el tiempo de carga (Lafarge, SGI, 2006).

#### **2.1.1.5 Logística y transporte**

Se produce al final de la cadena de abastecimiento y la cadena de valor; es un proceso importante ya que su factor de desempeño es medido por el cliente final (Lafarge, SGI, 2006).

Procesos de Soporte

#### **2.1.1.6 Control de Calidad y ambiente**

El aseguramiento de la calidad es el medio de control para el cumplimiento de la Norma de fabricación de un producto específico, siendo los parámetros más importantes los análisis químicos, resistencias, tiempos de fraguado, finura (que son indicadores perceptibles por el cliente).

Durante el proceso de fabricación se realiza un seguimiento diario empleando un control estadístico de las muestras y mediciones ambientales en línea que permiten realizar correcciones en el proceso productivo para cumplir con la

demanda de producto que exige el cliente, así como para controlar el cumplimiento estricto de normas ambientales (Lafarge, SGI, 2006).

#### **2.1.1.7 Desarrollo Humano**

Proceso que asegura el desarrollo de las competencias del personal operativo de cada proceso de la empresa y tiene como objetivo el cumplimiento de los planes definidos para la formación del personal en cada proceso (Lafarge, SGI, 2006).

#### **2.1.1.8 Adquisiciones**

Proceso responsable del abastecimiento de consumibles, materias primas, equipos, repuestos para cumplir los objetivos de la empresa; tiene como principal objetivo el cumplimiento en los plazos establecidos para entrega de bienes y servicios.

#### **2.1.1.9 Sistemas informáticos**

Brinda el soporte necesario para el manejo de información, procesos de automatización, tecnología y el control de las actividades de cada proceso (Lafarge, SGI, 2006).

#### **2.1.1.10 Mantenimiento**

Proceso encargado de la operatividad de equipos para el proceso de producción que ejecuta planes de mantenimiento preventivos, predictivos, correctivos y tiene como principal objetivo la fiabilidad de los equipos y factor de utilización de los mismos durante períodos extendidos, garantizando el cumplimiento y alineamiento hacia los planes de producción de la empresa (Lafarge, SGI, 2006).

### **2.1.1.11 Proceso de Control**

Se denomina proceso de control a la gestión gerencial que se encarga del control y seguimiento de objetivos, cumplimiento de indicadores, dirección del negocio, estrategias organizacionales direccionadas hacia el cliente final y su satisfacción (Lafarge, SGI, 2006).

### **2.1.2. Neumáticos**

Descriptivamente, se considera que la llanta neumática es un toroide o curva plana cerrada (Orozco, 2004), hecho de un compuesto sólido deformable elásticamente que puede ser de caucho mineral o caucho sintético, montado sobre una estructura anular rígida (normalmente metálica, malla de hilos de acero) que, en conjunto, encierran un volumen de aire según las características técnicas del neumático. Sin embargo, es muy común confundir lo que es una llanta, un neumático y una rueda; existen distintas definiciones como:

- Llanta: se la describe como el cerco metálico o estructura metálica de las ruedas de los vehículos.
- Neumático: se lo describe como la cubierta deformable y elástica que se monta en la llanta de las ruedas en los vehículos y sirve como cubierta protectora a la cámara de aire, que puede ser independiente o no.
- Rueda: es un componente de forma circular que gira alrededor de un eje que a su vez es impulsado por un sistema de transmisión de fuerza.

La llanta es un componente mecánico, con forma circular, sólido o hueco, fabricado de materiales como hule o sustancias químicas especiales con propiedades de absorber impactos, cargas y deformaciones, reforzados comúnmente con materiales textiles, acero u otros, los cuales son montados en un rin.

El material principal utilizado en la fabricación de una llanta es el caucho, material normalmente reforzado con fibras textiles o de otros materiales que le permiten mantener la resistencia y la flexibilidad (Michelin, s.f.).

### 2.1.2.1. Propiedades generales de los neumáticos

Los neumáticos tienen distintos componentes e incluyen distintos tipos de compuestos de acero y caucho (Fig. 35). En el gráfico se indican los principales componentes de un neumático, así como los términos técnicos utilizados para permitir que los consumidores identifiquen sus características (Michelin, s.f.):

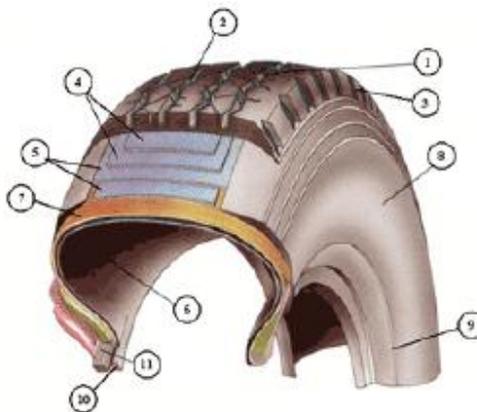


Figura 35 Composición de los neumáticos

Tomado de: (Shulman, 2003)

1. Banda de rodadura, designada como la parte del exterior de caucho que se usa para apoyo hacia el pavimento, su porción de material es la encargada de realizar un proceso de adherencia hacia el suelo.
2. Ranura de la banda de rodadura, se refiere al espacio entre dos tacos de caucho ubicadas en el perímetro de la banda, nos indican la cantidad de material disponible para su vida útil, también tiene propiedades para disipar el calor y encausar agua del pavimento.

3. Flanco, llamada así a la parte lateral del neumático, es usada para describir los detalles técnicos del neumático y es diseñada de manera que proteja la pestaña de la llanta.
4. Lona, se la llama así a la capa conformada de cables de acero recubiertos de caucho mineral o sintético, los cuales están dispuestos de forma paralela. La función de los cables junto con el caucho son las de estabilizar el neumático.
5. Cables de acero (material que conforma entre el 15 al 25% del neumático), son tejidos de acero que forman las lonas del neumático.
6. Carcasa, se llama así a la parte estructural de la llanta, se diferencia de la banda de rodadura y de las paredes del flanco, soportan la carga de inflado o la presión directa hacia el neumático.
7. Ancho de sección, es la distancia lineal que existe entre la parte exterior del flanco de la llanta; cuando se llega contener su presión específica según la medición del fabricante.
8. Cinturón, se lo llama de esta manera a la o las capas de materiales que confirman los diferentes tipos de llantas, se encuentran dispuestas en dirección de la línea media; de esta manera, se brinda a la carcasa una protección en su circunferencia.
9. Talón, se llama así al borde inferior de la carcasa cuya forma y estructura le permiten transferir las fuerzas de frenado y tracción; debe garantizar una correcta distribución de los impactos en curvas y frenado.
10. Tira de fijación del talón, (también se la llama cháfer) es el material que asegura fijación; por su característica robusta, resiste la erosión en la zona del talón y protege la carcasa (Shulman, 2003).

### 2.1.2.2 Composición de los neumáticos

Tabla 2

*Composición de los neumáticos*

<b>Material</b>	<b>Automóviles (%)</b>	<b>Camiones (%)</b>
Caucho/elastómeros*	48	45
Negro de humo y sílice	22	22
Metal	15	25
Material textil	5	
Óxido de zinc	1	2
Azufre	1	1
Aditivos	8	

Tomado de: (Shulman, 2003).

Los neumáticos de camión contienen una mayor proporción de caucho natural en relación con el caucho sintético que los neumáticos de automóvil (Tabla No. 2). La composición de caucho podría obedecer al hecho de que los neumáticos para automóviles de pasajeros tienen que satisfacer normas de calidad más elevadas a fin de competir con éxito en el mercado. Los neumáticos de camión y de vehículos todo terreno, en cambio, deben soportar cargas más pesadas y recorrer mayores distancias, y no desplazarse a alta velocidad (Shulman, 2003).

### 2.1.2.3 Propiedades de combustión

Los neumáticos en general, sea neumático completo, polvo, chip (TDF), tienen propiedades de combustión muy similares a las de los combustibles más usados en la industria cementera debido a su alto contenido de carbono. Los valores de poder calorífico oscilan entre 32 y 34 MJ/Kg (Tabla No. 3).

Tabla 3

*Propiedades térmicas de los diferentes combustibles utilizados*

Combustible	Energía (GJ/t)	Emisiones	
		kgCO <sub>2</sub> /t	kgCO <sub>2</sub> /GJ
Neumáticos	32,0	2.720	85
Carbono	27,0	2.430	90
Coque de petróleo	32,4	3.240	100
Aceite diesel	46,0	3.220	70
Gas natural	39,0	1.989	51
Madera	10,2	1.122	110

Tomado de: (Fuels, 2005).

Los neumáticos usados aportan igual cantidad de energía que un Petcoke o Coque de petróleo según nos demuestra la Tabla No. 03; en el capítulo No. 3 podremos ver la diferencia en coste al reemplazarlo con el aporte del TDF dentro de la matriz de combustibles.

#### **2.1.2.4. Reutilización de neumáticos usados**

Los procesos de eliminación pueden agruparse de manera general en las siguientes categorías (Reschner, 2006):

- Regeneración y desvulcanización (proceso químico)
  - Pirolisis (proceso térmico)
  - Productos para el consumo e industriales (incluidos elastómeros)
  - Co procesamiento
  - Incineración
  - Trituración mecánica
- (Reschner, 2006).

#### **2.1.2.4.1. Regeneración**

La regeneración es un proceso por el cual, mediante procesos mecánicos, energía térmica y productos químicos, el caucho del neumático pasa a un estado en que puede mezclarse, procesarse y vulcanizarse nuevamente. El proceso de regeneración tiene como principio la desvulcanización, principio que se basa en el desprendimiento de los enlaces intermoleculares que tiene un neumático. Estos dotan a los neumáticos de durabilidad, elasticidad y resistencia a los solventes. El caucho regenerado se utiliza para fabricar productos que tienen demanda y usos limitados, puesto que sus propiedades mecánicas son inferiores a las del original (Reschner, 2006).

#### **2.1.2.4.2. Desvulcanización**

La desvulcanización consta de los pasos distintos: la reducción del tamaño y la rotura de los enlaces químicos, que puede lograrse por medio de cuatro procesos, cada uno de los cuales tiene costos y tecnologías bien diferenciados: químicos, ultrasónico, de microondas y biológico (Reschner, 2006).

#### **2.1.2.4.3. Pirolisis**

La pirolisis es un proceso que se produce usando velocidades de calentamiento para obtener una degradación térmica, una alternativa eficiente para recuperar energía debido a su proceso donde las concentraciones de oxígeno son suficientemente bajas para obtener materiales de pesos moleculares bajos de manera que no puedan causar combustión.

El proceso de pirolisis produce una cantidad de aceites que no contienen propiedades de energía (comparándolo con otros tipos de aceites como el aceite diésel); el proceso es complejo y requiere equipamientos de avanzada tecnología, para usarlo en el aprovechamiento de llantas usadas se considera que no es un método eficiente por sus aplicaciones limitadas (Reschner, 2006).

#### **2.1.2.4.4. Termólisis**

Se trata de un sistema que consiste en generar reacciones térmicas a materiales residuales como los neumáticos, a un medio de temperaturas bajas en el que no existe oxígeno. La temperatura baja “al baño María” y la ausencia de oxígeno destruyen los enlaces químicos que conforman el neumático de forma que aparecen cadenas de hidrocarburos, es decir, volviendo a las propiedades iniciales del neumático. Mediante este proceso se obtienen metales, hidrocarburos sólidos, gaseosos y carbones, que pueden volver a la producción o a las cadenas industriales para su aprovechamiento; los nuevos sistemas de termólisis evitan emisiones a la atmósfera (Reschner, 2006).

#### **2.1.2.4.5. Incineración (Co procesamiento)**

Proceso de tratamiento térmico que se produce con la combustión de los compuestos orgánicos del neumático en los hornos cementeros; puede llegar a altas temperaturas debido a su recubrimiento refractario de alta calidad. La incineración en Hornos puede ser un proceso costoso y además puede presentar inconvenientes en su combustión por los tiempos de residencia del caucho y por la depuración de residuos si es que no se tienen los equipos adecuados. Existen teorías de que es un proceso contaminante por que se producen gases con contenidos de Monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de zinc benceno, dióxido de azufre (SOx) y óxidos de plomo. Con este método los gases contaminantes se mezclan con la materia prima y los cristalizan en su transformación química, disipando su impacto ambiental (Reschner, 2006).

#### **2.1.2.4.6. Triturado**

Los neumáticos usados enteros pueden utilizarse para otros fines, pero la mayoría de los procedimientos utilizan neumáticos molidos (Chip TDF, polvo granulado) para que el caucho pueda utilizarse en distintas aplicaciones. Sin

embargo, la molienda de neumáticos suele ser muy costosa por el consumo energético de los motores de alta potencia, además de que producen ruido y polvo.

Tabla 4

*Porcentajes de materiales que componen los neumáticos*

<b>Producto</b>	<b>Neumáticos de camión</b>	<b>Neumáticos de automóvil</b>
<b>Caucho molido</b>	70%	70%
<b>Acero</b>	27%	15%
<b>Fibra y</b>	3%	15%

Tomado de: (Reschner, 2006).

En el cuadro se indican las cantidades de caucho molido, acero, fibra y residuos que pueden originarse en neumáticos de camiones y automóviles (Reschner, 2006).

## 2.2. Marco Conceptual

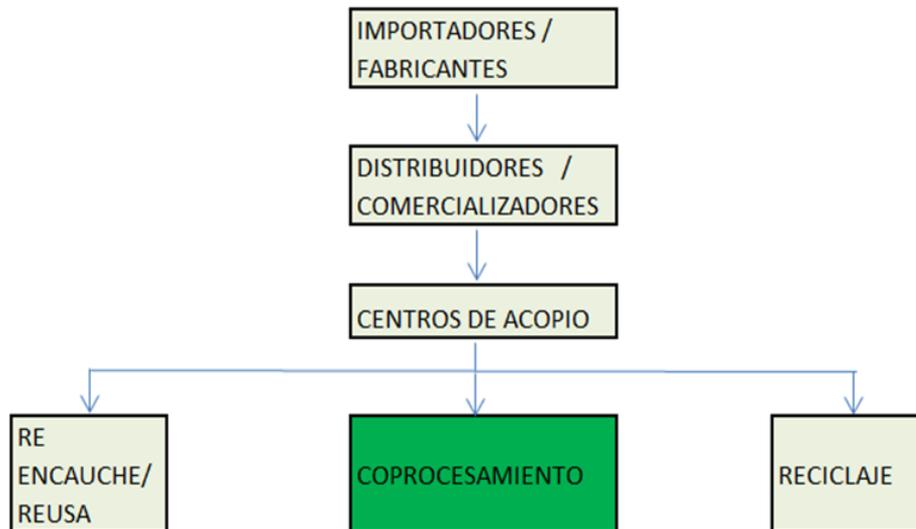


Figura 36 Ciclo de vida del neumático

Tomado de: (Valero, 2011).

### Co Procesamiento en Hornos Cementeros

Mediante la valorización energética de residuos se reemplaza gran parte del combustible fósil tradicional (Fuel Oil, Petcoke, Carbón) consumido en hornos cementeros, por residuos alternativos de contenidos energéticos favorables para el proceso de producción, derivados de otras actividades industriales o residuos sin la adecuada gestión ambiental (se los conoce también como pasivos ambientales).

El daño generado por alguna actividad productiva que no ha sido reparado o restaurado y que continúa presente en el ambiente constituyendo un riesgo para cualquiera de sus componentes, por lo general es asociado a una fuente de contaminación y se lo conoce como Pasivo Ambiental.

Las altas temperaturas de trabajo en el horno, los elevados tiempos de residencia, así como el efecto de lavado de gases que tiene lugar por el paso de los gases de combustión por el precalentador de ciclones, permiten al sector cementero valorizar energéticamente una amplia variedad de residuos bajo las exigencias legales ambientales y de seguridad. Además del ahorro de combustibles fósiles (carbón y coque de petróleo principalmente), la valorización energética de residuos permite llevar a cabo un tratamiento seguro de los residuos, puesto que el proceso de fabricación del cemento no genera residuos.

Otros aspectos que hacen que la valorización energética (Fig. 38) de residuos en la industria cementera sea una alternativa adecuada en la gestión de determinados residuos son los siguientes:

- Eliminación de los compuestos orgánicos, gracias a la inhibición de gases contaminantes como dioxinas y furanos, metales pesados, debido a la combinación de las altas temperaturas en la torre de ciclones con una atmósfera oxidante y un adecuado tiempo de residencia de gases y material.
- Los metales pesados y otras partículas contaminantes se cristalizan en el Clinker, quedando inertizados.
- Los residuos con contenidos de Oxidos de nitrógeno (SOx) o Cloro así como los gases ácidos son neutralizados y absorbidos por el material que ingresa a la torre de Ciclones con composiciones de (Ca) y otros compuestos alcalinos también presentes en el horno y en los precalentadores de ciclones. Estos compuestos aportan a tener un control sobre los rangos permisibles de emisiones.

Las cenizas procedentes de la combustión de los residuos valorizados pasan a formar parte del Clinker (Valero, 2011).

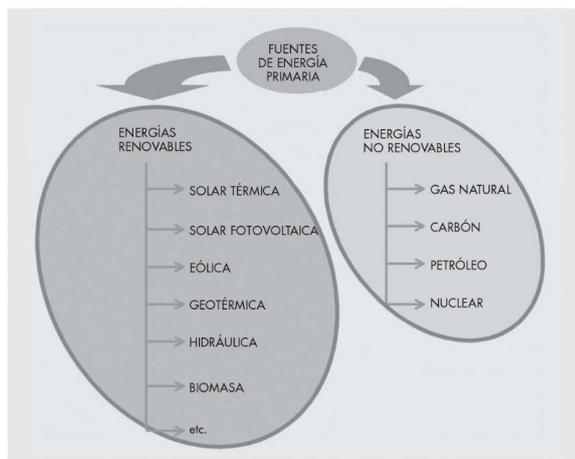


Figura 37 Fuentes de energía

Tomado de: (Valero, 2011).

### 3. CAPITULO III. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

#### 3.1. Análisis técnico de la situación descrita en el planteamiento del problema

Matriz de combustibles:

El poder calórico de los combustibles de hidrocarburos y combustibles alternativos (Tabla No. 5) son valores obtenidos del procedimiento para la determinación del aporte de calor de combustión (ASTM, D 1405).

Tabla 5

Poder calórico de los combustibles que conforman la actual matriz

	PCI (Kcal/kg)	Densidad (kg/l)
HFO	9826	0,97
AU	8461	0,88
PKS	4432	---
PETCOKE	8114	---
TDF	7500	---

Tomado de: (ASTM, D 4809).

Para el desarrollo del tema de investigación se obtuvo la oferta económica de un proveedor local que es calificado como Gestor ambiental; el material de

stock disponible mensual es un valor comprometido de entrega y que puede ser progresivo según la demanda de consumo.

Tabla 6

*Datos del material disponible para el caso de estudio*

DATOS TDF	
500	toneladas/mes
18,08	toneladas/día
0,75	toneladas/hora

En una industria cementera se puede reemplazar todo el combustible líquido por combustible alternativo del tipo TDF; sin embargo, en la actualidad los gestores ambientales no disponen de todo el material (Tabla No. 6) que es de responsabilidad compartida entre distribuidores, gestores, usuarios y co procesadores.

Valor promedio del TDF obtenido en pruebas industriales:

Poder calorífico (PCI) del TDF obtenido en pruebas con bomba calorimétrica: 7500 kcal/kg (Puede oscilar entre 6500 a 8300 kcal/kg).

Los escenarios actuales para las líneas de producción estudiadas reflejan las cantidades de combustibles usados para la obtención del material Clinker.

La línea de producción 2 (Horno 2) consume anualmente 3721 MJ/tkk (según la matriz de combustibles representada en el gráfico), a diferencia de la matriz de la línea de producción 1 (Horno 1), en la cual todavía se usa HFO (Combustible líquido), siendo el combustible más costoso (Ver anexo 2).

En el ejercicio de la tabla No. 07, realizado para la obtención del porcentaje de sustitución del TDF en la matriz de combustible de la línea 2, se sustituye el

Petcoke por ser el combustible que aporta el mismo rango de PCI, siendo el combustible más usado en esta línea.

Tabla 7

*Reemplazo de TDF por Petcoke en línea 2*

REQUERIMIENTO HORNOS (BUDGET 2017)						
Shop	Consumo Térmico (MJ/t kk)**	% HFO	% AU	% PKS	%PETCOKE	% TDF
H1	3721	5	20	0	58	17
H2	3460	0	0	35	55	10

Tabla 8

*Aporte de energía de los combustibles de la matriz*

Aporte Energía (MJ/t kk)				
HFO	AU	PKS	PETCOKE	TDF
186,05	744,2	0	2158,18	632,57
0	0	1211	1903	346

En la tabla No. 08, se puede notar el aporte individual de energía por tonelada de Clinker de cada combustible de la matriz de combustible, en cada una de las líneas de producción.

Las cantidades de material disponible para quemarlo son los que marcan diferencia, sin embargo, se pueden incluir más opciones de combustibles alternativos como co procesamiento por ejemplo: madera residual, plásticos, basura, cosméticos caducados y medicina caducada que, de igual manera que el TDF, deben ser evaluados en un período de consumo donde se puedan medir las emisiones a la atmósfera.

Tabla 9

*Aporte de energía anual de los combustibles de la matriz*

Aporte Energía (GJ/año)				
HFO	AU	PKS	PETCOKE	TDF
52590,9	210363,8	0,0	610054,9	178809,2
0,0	0,0	621504,6	976650,0	177572,7

El aporte de energía anual por cada combustible es representado en la tabla No. 09.

La tabla No. 10 indica la cantidad de consumo en toneladas del TDF en ambas líneas de producción, tomando como referencia la cantidad comprometida por el proveedor local como abastecimiento anual a la Planta cementera.

Tabla 10

*Ejemplo de Volumen de combustibles que se pueden consumir en las líneas 1 y 2.*

Volumen ( Gal /año)		Masa ( t/año)		
HFO	AU	PKS	PETCOKE	LLANTAS
347.378,2	1.778.716,3	0,0	17987,0	5703,6
0,0	0,0	33548,1	28795,7	5664,2
347378,2	1778716,3	33548,1	46782,7	11367,8

Las cantidades comprometidas para los porcentajes de aporte en la matriz son basadas en la capacidad de abastecimiento del proveedor de TDF; para que un material pueda ser considerado dentro de la matriz de combustibles debe tener cantidades considerables y constantes que además no varíen la calidad del Clinker.

### 3.2. Análisis financiero de la situación descrita en el planteamiento del problema

El análisis comparativo de costos se detalla en la tabla No. 11, donde se incluye la importancia en el aporte calórico por cada combustible de la matriz.

El TDF representa un 5% de aumento del precio (puesto en Planta), para la gestión de alimentación manual hacia el sistema de pruebas.

El combustible alternativo (PKS) tiene similar costo al TDF, sin embargo, la diferencia en aporte calórico es muy significativa.

Los gráficos de la Fig. 39 nos demuestran los valores de aporte de cada combustible en la matriz como también su valor promedio, lo cual determina el uso de acuerdo a su disponibilidad.

Tabla 11

Coste de los combustibles de la matriz, comparaciones de PCI y coste

COSTOS COMBUSTIBLES*			
		USD/GJ	PCI (Kcal/kg)
	HFO*	6,42	9826
	AU*	3,63	8461
	PETCOKE*	3,51	8114
	PKS*	2,16	4432
	LLANTAS	<u>2,18</u>	7500

\* Datos de reporte de Feb 2017

Comparación del Poder Calórico PCI (Kcal/Kg) y coste (Usd/Gj) de los combustibles de la matriz:

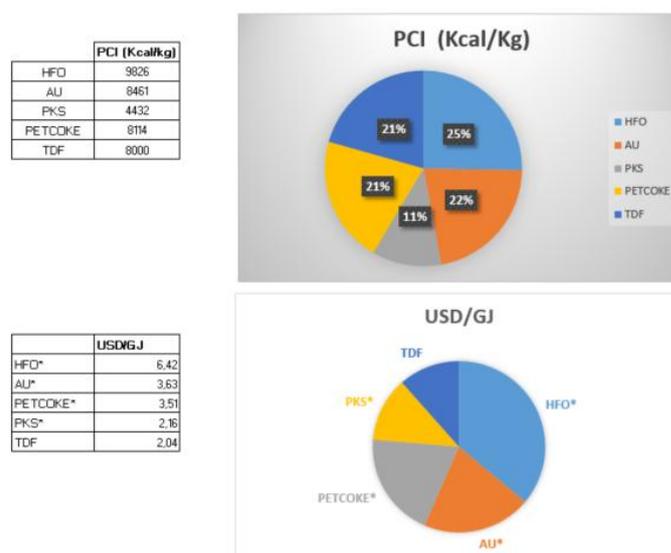


Figura 38 Representación gráfica comparativa de la matriz de combustible

El siguiente ejercicio, detallado en la tabla No. 12, nos refleja el valor de ahorro por año reemplazando inicialmente un 5% de petcoke y un 10% del mismo combustible en un segundo año en la línea de Producción 2.

Tabla 12

*Simulación de ahorro en USD incluyendo al TDF en la matriz de combustibles en la línea 2*

<b>MATRIZ COMBUSTIBLE H2 (%)</b>			
HFO	0	0	0
AU	0	0	0
PETCOKE	65	60	55
PKS	35	35	35
LLANTA	0	5	10
<b>USD/GJ</b>	<b>3,04</b>	<b>2,97</b>	<b>2,91</b>
<b>AHORRO AÑO</b>	<b>---</b>	<b>\$ (118.754,39)</b>	<b>\$ (237.508,77)</b>

Luego se realizó una simulación inicial introduciendo el 5% de TDF y disminuyendo la misma cantidad con el Petcoke, demostrando un ahorro anual de 118.752,30 USD en la línea de producción No. 2.

De igual forma, se realizó una simulación inicial introduciendo el 10% de TDF y disminuyendo la misma cantidad con el Petcoke, demostrando un ahorro anual de 237.508,77 USD en la línea de producción No. 2

El ejercicio detallado en la tabla No. 13, refleja los valores de ahorro por año reemplazando el mismo combustible Petcoke (el combustible más disponible y consumido en ambas líneas); los valores de ahorro pueden incrementarse si se logran reemplazar los combustibles de mayor valor en coste como el HFO y AU.

Tabla 13

*Simulación de ahorro en USD incluyendo al TDF en la matriz de combustibles en la línea 1.*

<b>MATRIZ COMBUSTIBLE H1 (%)</b>			
HFO	5	5	5
AU	20	20	20
PETCOKE	75	70	58
PKS	0	0	0
LLANTA	0	5	17
<b>USD/GJ</b>	<b>3,68</b>	<b>3,62</b>	<b>3,46</b>
<b>AHORRO AÑO</b>	<b>---</b>	<b>\$ (70.341,93)</b>	<b>\$ (239.162,57)</b>

Se realizó una simulación inicial introduciendo el 5% de TDF y disminuyendo la misma cantidad con el Petcoke, demostrando un ahorro anual de 70.341,93 USD en la línea de producción No. 1.

Luego se realizó una simulación inicial introduciendo el 17% de TDF y disminuyendo la misma cantidad con el Petcoke, demostrando un ahorro anual de 239.162,57 USD en la línea de producción No. 1.

De acuerdo a las simulaciones de reemplazo de combustible Petcoke por TDF en las líneas de producción 1 y 2, se puede determinar la inclusión del combustible a la matriz en un 5% de reemplazo, generando un ahorro anual de 189.094,3 USD.

Si el reemplazo es progresivo para el segundo año, se puede llegar a reemplazar Petcoke por TDF en 27%, generando un ahorro anual de 476.671,34 USD.

El porcentaje de reemplazo puede verse afectado o favorecido si las medidas de control ambiental se cumplen o no, mientras la autoridad ambiental exija a los productores, distribuidores, consumidores y gestores una mayor justificación de la gestión de sus pasivos ambientales, se podrá disponer de

más llantas para convertirlas en TDF y de esta manera abastecer a las plantas cementeras para el Co procesamiento de este tipo de desechos.

Las empresas cementeras están alineadas a aportar beneficios ambientales, disminución de emisiones de dióxido de carbono y gases de efecto invernadero para la obtención de certificaciones como MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) ante las Naciones Unidas. Para el caso particular de estudio se puede notar que, con el reemplazo de los combustibles fósiles como el Fuel Oil por Biomásas, se obtiene una reducción de 57.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al ambiente (RevistaLíderes, 2017).

Los compromisos de las empresas cementeras son alinearse con los 9 objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entre ellos, “Construir infraestructuras resistentes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación”. (RevistaLíderes, 2017)

#### **4. CAPITULO IV. RESOLUCIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA AL SOLUCIONAR LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA**

##### **4.1. Propuesta de Mejora**

Inicialmente se puede instalar un sistema de alimentación manual del TDF diseñado para garantizar un ingreso del material al interior del Precalentador de manera segura y constante; dependiendo de la cantidad de material disponible en Planta cementera se puede alimentar la cantidad necesaria en función de la generación de calor y controlando las cantidades de emisiones (Fig. 39) con la instrumentación disponible del proceso.

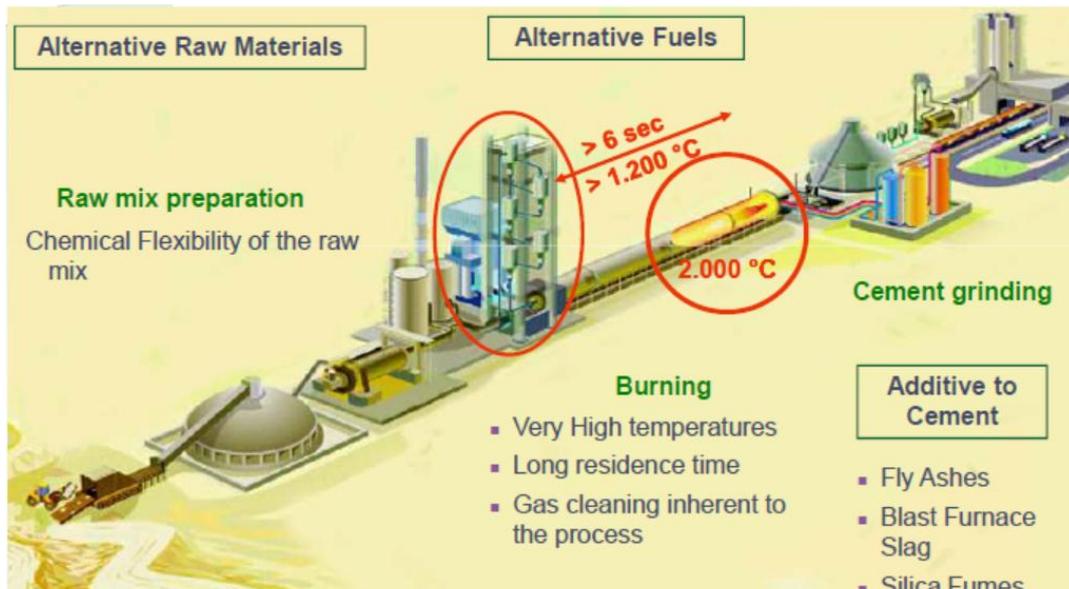


Figura 39 Línea de Producción de cemento  
Tomado de: (Zarate, 1996).

Diagrama de proceso del Cemento (Fig. 40).

En el diagrama de proceso se describen las fases para la fabricación de cemento desde la Extracción de materias primas bases para la formación de harina cruda. Cada una de las canteras lleva su estricto control ambiental; ya en la Fase de Molienda se dosifican cada una de las materias primas explotadas y se trituran para transformarse en la primera materia prima elaborada (de nombre Harina cruda) que pasa a un proceso de homogenización y almacenamiento para posteriormente ser llevada a fase de acondicionamiento y calcinación. La transformación de harina cruda a Clinker es el proceso más importante dentro de la industria cementera pues es aquí donde se obtienen las resistencias de la materia prima elaborada; en este proceso se cuenta con un monitoreo en línea con el Ministerio de Ambiente para controlar las emisiones hacia la atmósfera. El control ambiental es uno de los factores más importantes de la industria y, por lo tanto, se buscan siempre las mejores tecnologías en equipamiento para cumplir con la legislación ambiental. Con la introducción de nuevos combustibles alternativos a la matriz de combustibles, cada vez se consiguen más beneficios para la industria como también para el ambiente; el

co procesamiento es una actividad que beneficia a diferentes sectores industriales pero, sobre todo, el beneficio es para los ecosistemas. Luego de la obtención del Clinker el proceso continúa con la dosificación de materiales aditivos para la elaboración de los diferentes tipos de cemento que exige el mercado.

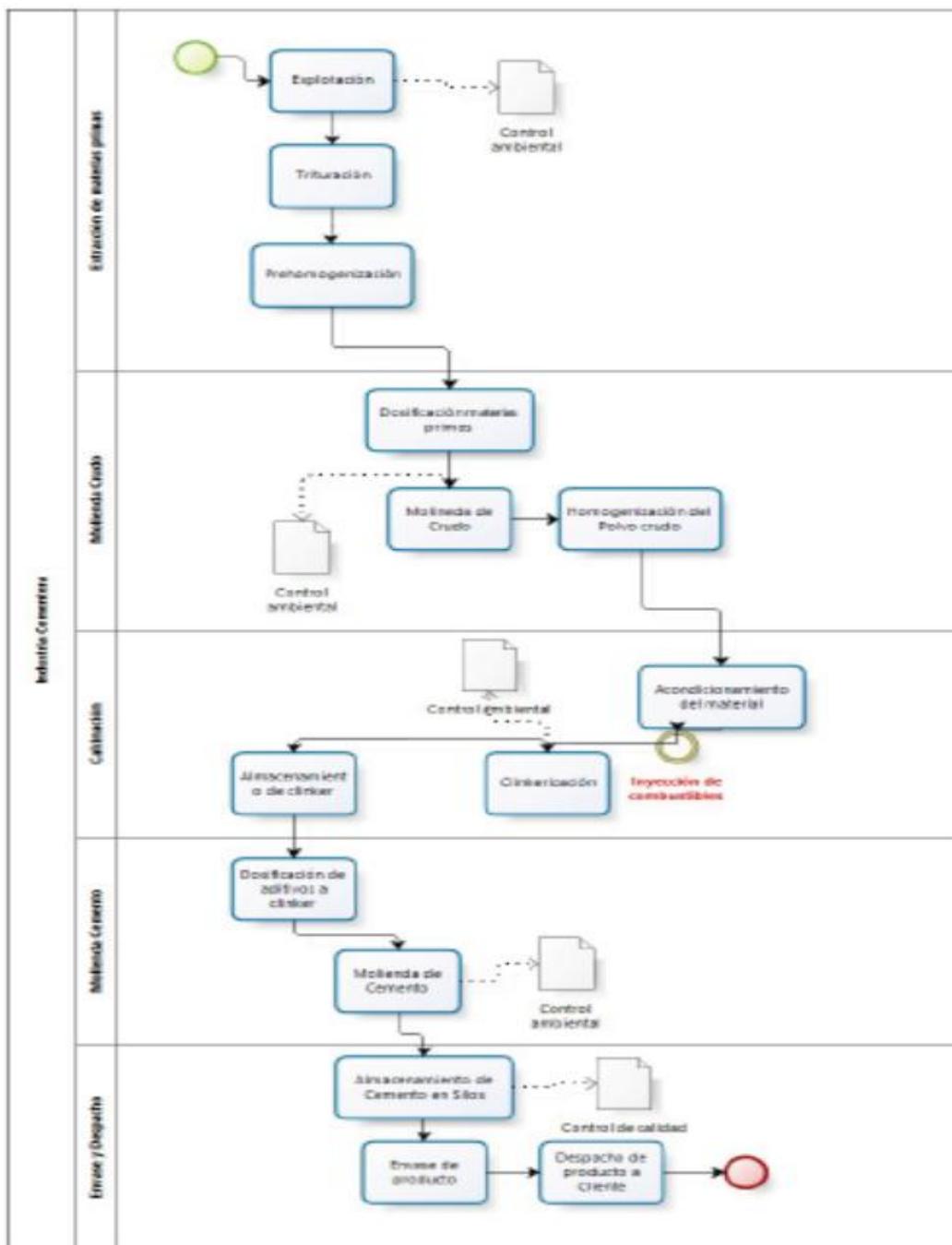


Figura 40 Diagrama de Proceso de la fabricación de cemento

La gran mayoría de llantas disponibles en el mercado nacional son productos importados para el uso automotor; los importadores tienen sus canales de distribución nacionales para la venta hacia el usuario final. Luego de haberse cumplido la vida útil de una llanta, por lo general quedan en las vulcanizadoras y éstas, a su vez, son gestionadas por las municipalidades para ser parte de los rellenos sanitarios. Otras que por lo general son de uso en equipo pesado como los camiones, se las reencaucha y se les alarga la vida útil por un tiempo, sin embargo, el reencauche no es muy duradero y se aconseja que no se lo haga por muchas ocasiones; cuando la llanta reencauchada cumple su vida útil también es llevada a los rellenos sanitarios. Actualmente, las municipalidades y los gestores ambientales tienen el compromiso de mantener y gestionar los residuos, junto a la responsabilidad ambiental que tiene toda la línea de abastecimiento del producto desde el importador; la autoridad ambiental ha generado instructivos y acuerdos ministeriales para que la gestión de residuos sea controlada y progresiva hasta que los pasivos ambientales puedan ser reutilizados o manejados de manera correcta.

Con las disposiciones vigentes desde el año 2015, se ha impulsado el desarrollo de pequeñas empresas que gestionan los diferentes tipos de pasivos ambientales, beneficiando a las comunidades, ecosistemas y al sector industrial. Uno de los medios de gestión para las llantas usadas es la trituración, que para el caso de estudio es aprovechado por los Hornos Cementeros; los controles ambientales se llevan a cabo con el Ministerio del Ambiente a través de un control en línea de los analizadores de gases instalados en las chimeneas de las líneas de calcinación; por lo tanto, faculta a la industria cementera según los acuerdos ministeriales al ser el único sector industrial que puede co procesar este tipo de desecho especial para transformarlo en cemento de manera seguro y amigable con el medio ambiente (Fig. 41).

Los gestores ambientales que se encargan de llevar el “Neumático Usado” a su destino final para transformarlo en TDF, deberán cumplir el Reglamento para

la Prevención y Control de la Contaminación por Sustancias Químicas peligrosas, Desechos Peligrosos y Especiales (MAE161, 2013).

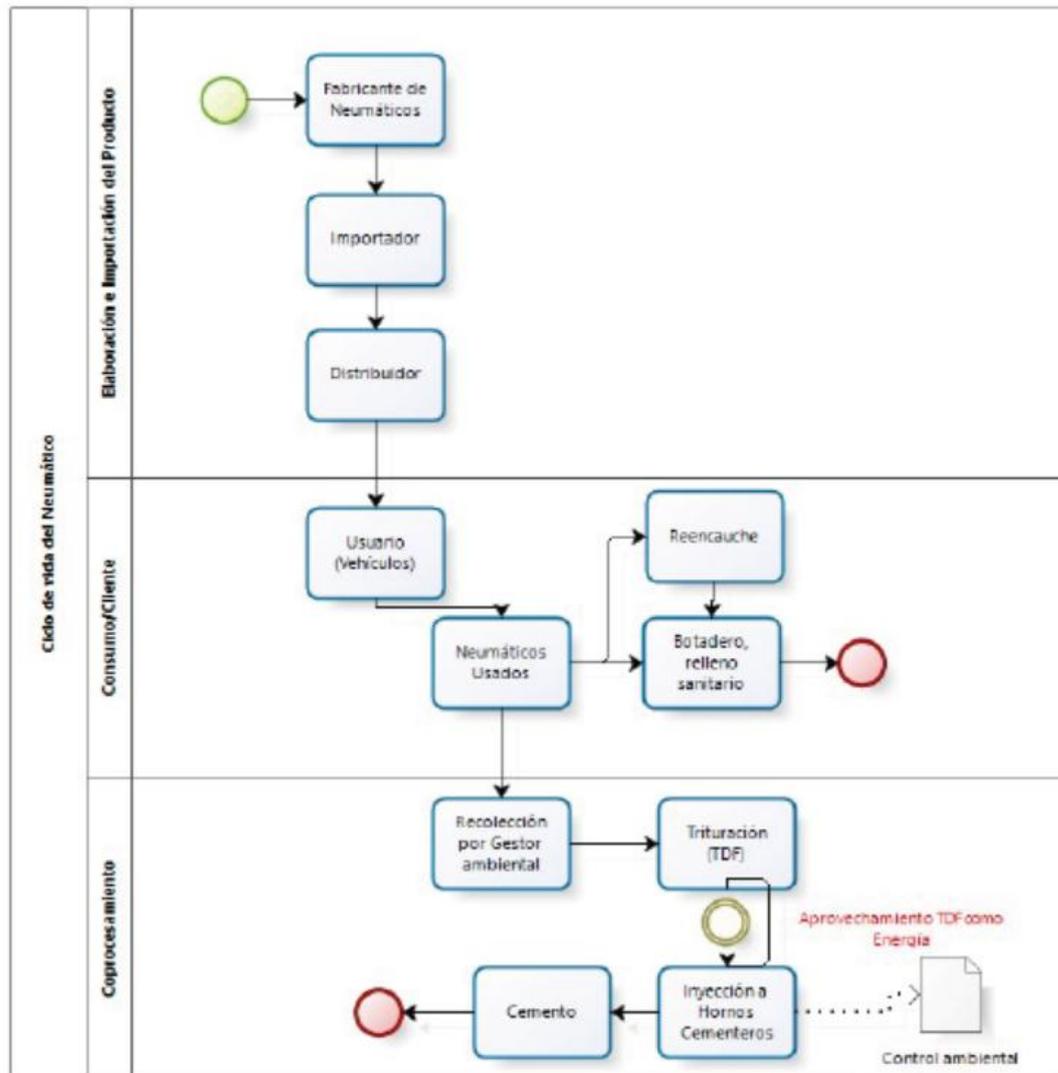


Figura 41 Diagrama de Proceso para la obtención del TDF hasta su disposición fina

#### 4.1.1 Características y capacidades de los equipos

La infraestructura que se requiere para la introducción del TDF en el Proceso de calcinación de la línea 2 se describe en el Anexo 2, donde se detallan los materiales utilizados para sus fabricaciones, componentes electrónicos, capacidad material, resistencia, temperaturas, medidas, capacidades,

esquemas, medidas y componentes, que conforman todo el sistema de alimentación manual de materiales para Co procesamiento (Ver Anexo 2).

#### 4.2. Aplicación de herramienta técnica

Según herramienta de Pareto (regla del 80/20), el 80% de las consecuencias proviene del 20% de las causas, como lo indica la tabla No. 14.

Tabla 14

##### *Pareto*

<i>Causas para reducir el Uso de combustibles fósiles</i>	<i>Eventos</i>	<i>%Acum</i>	<i>%</i>
Eliminación de subsidios	17	21,25	21,25
Nuevos combustibles alternativos	15	40	18,75
Recurso natural no renovable (Fueloil)	10	52,5	12,5
Aporte calorífico	10	65	12,5
Fluctuación de precios	10	77,5	12,5
Riesgos por manipulación	5	83,75	6,25
Disponibilidad del material	5	90	6,25
Riesgos en el transporte	5	96,25	6,25
Consumo energético	3	100	3,75

El análisis de Pareto nos indica el mayor evento que influye en el tema de investigación, el cual fue la vigencia del Decreto Ejecutivo 799 (Ejecutivo, 2015), reforma el Reglamento sustitutivo para la regulación de los precios de los derivados de los hidrocarburos.

De acuerdo con el mismo, el precio de los combustibles (entre ellos el Fuel Oil No. 6) será determinado cada mes por Petroecuador, con base en un costo promedio ponderado más los costos de transporte, almacenamiento, comercialización y un margen, además de otros tributos que fueren aplicables. En el análisis de Pareto podemos identificar que la mayoría de causas

proviene del uso del Fuel Oil No. 6 como combustible fósil para el proceso de fabricación de cemento (eliminación de subsidios, fluctuación de precios, aporte calórico, recurso natural no renovable, riesgos por manipulación interna y externa por el medio de transporte). Estos eventos externos determinan el presente caso de estudio, en busca de combustibles alternativos que aporten similares beneficios en coste, energía y que sean favorables para el medio ambiente (Fig. 42).

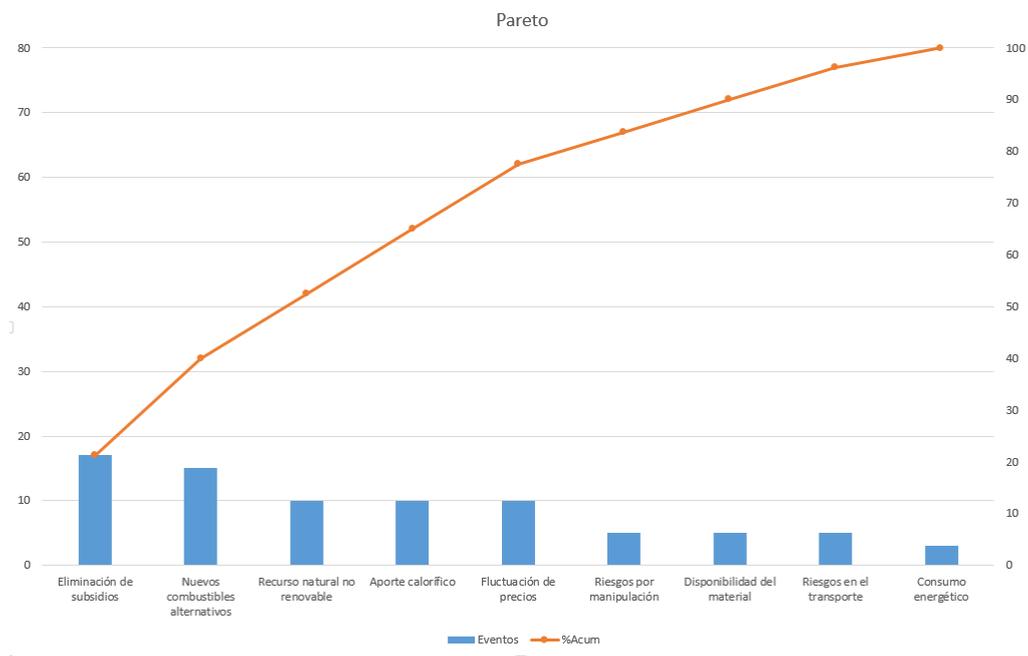


Figura 42 Diagrama de Pareto

Para un análisis más profundo se desarrolla un Análisis de Causa/Efecto con el objetivo de identificar los factores del entorno del problema para tomar la mejor decisión para el beneficio de la empresa (Fig. 44).

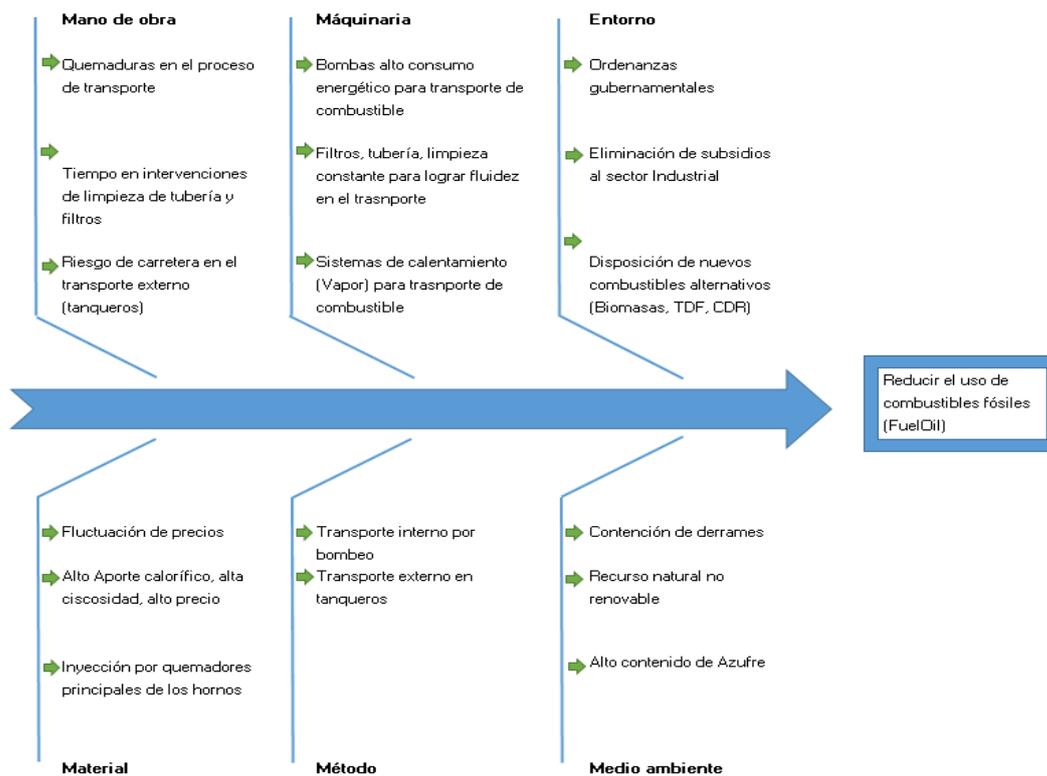


Figura 43 Diagrama Ishikawa

Se identifican, mediante el diagrama de causa-efecto o Diagrama de Espina de Pescado, todas aquellas causas de un problema identificado con la herramienta Pareto (Fig. 43).

La manipulación del combustible Fuel Oil representa un riesgo tanto interno como externo (en el transporte); en la industria cementera se invierte recurso humano para que el flujo del combustible por transporte por bombeo sea efectivo; sabemos que existen factores de riesgo ambientales por la contención y gestión de derrames que suelen existir por falta de flujo, obstrucciones, filtros taponados, etc.

Los factores del entorno de carácter político fueron de los más importantes para considerar la reducción del uso del Fuel Oil, así como también el factor económico; éstos obligaron a buscar otras fuentes de energía.

## Análisis FODA

En las representaciones de las Figuras 44, 45, y 46 se realiza un análisis FODA en el año 2016, cuando los impactos de los combustibles se reflejan directamente en los costos de producción.

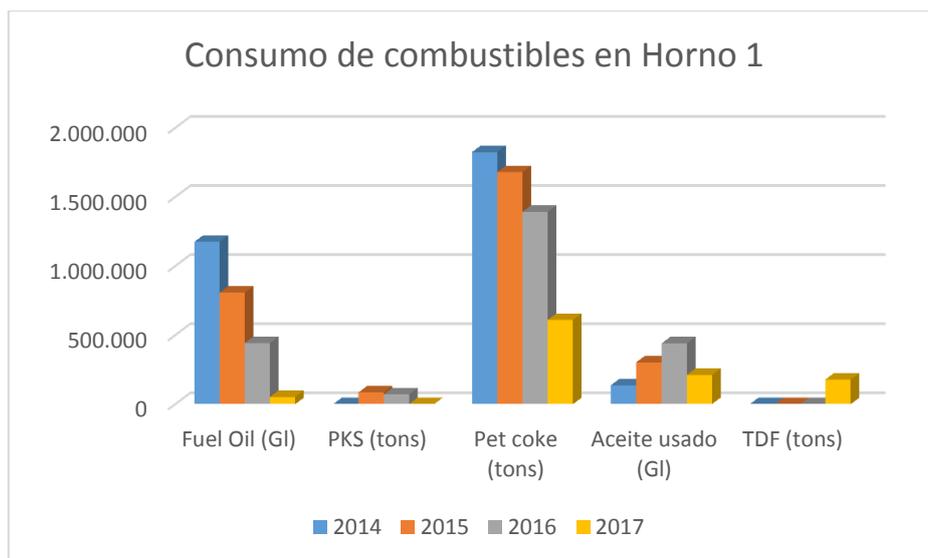


Figura 44 Análisis comparativo de la evolución del consumo en la matriz de combustibles

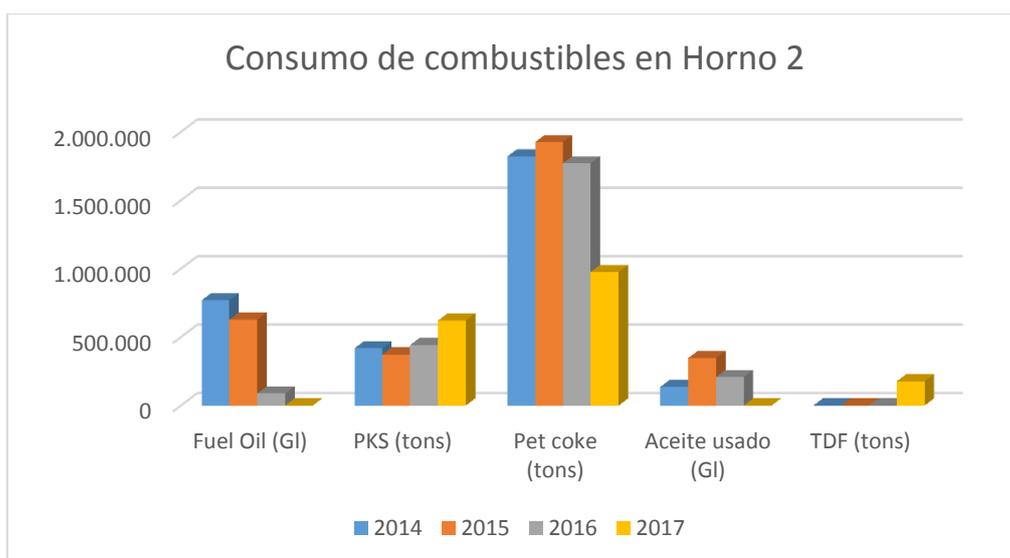


Figura 45 Análisis comparativo de la evolución del consumo en la matriz de combustibles.

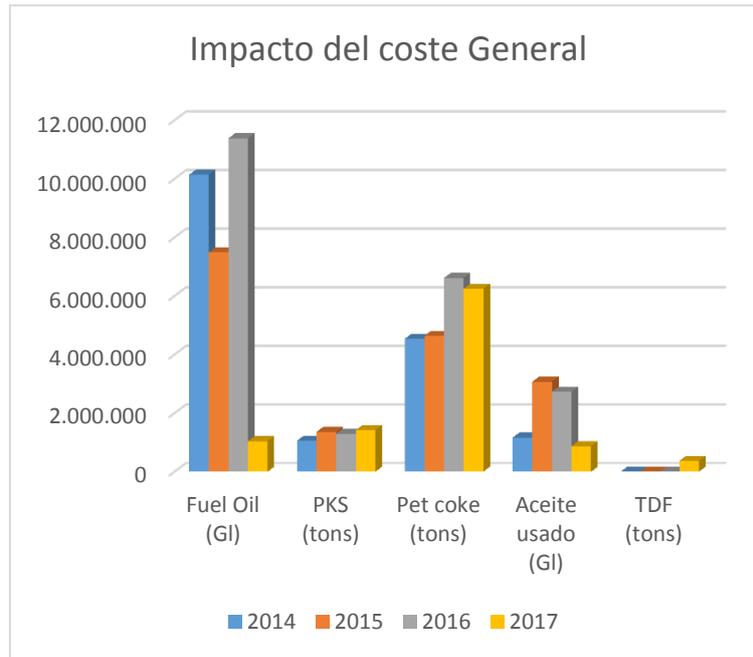


Figura 46 Análisis del impacto del coste en los combustibles de la matriz

Análisis de la empresa al año 2016 con sus respectivas características de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

#### Fortalezas

- Aporte calórico del Fuel Oil es superior al de los otros combustibles.
- Sistema de transporte externo desarrollado como proveedor seguro.
- Disponibilidad de otros combustibles alternativos.
- Capacidad instalada para consumo de combustibles alternativos.
- Medición en línea de emisiones de gases.

La ventaja resaltada en la Fig. 46 sobre la disponibilidad de otros combustibles alternativos nos ha llevado en la actualidad a tener un 30% de sustitución del Fuel Oil por combustibles alternativos debido a la infraestructura instalada, siendo la tendencia positiva a seguir incrementando el porcentaje.

#### Oportunidades

- Desarrollar nuevos proveedores de combustibles alternativos para incluirlos dentro de la matriz.
- Optimizar los procesos en función del consumo y aprovechamiento de energía calórica.
- Consumo de materiales de tipo residual de otras industrias (Co procesamiento).
- Reconocimientos por parte de la autoridad ambiental.
- Aumentar la capacidad instalada para alimentar otros productos.

A partir del año 2016 se puede ver el incremento de consumo de combustibles alternativos y la aparición de otros nuevos que aportan GJ que no se consiguen del consumo del Fuel Oil; las oportunidades de ir desarrollando nuevos proveedores son muy interesantes para la matriz de combustibles (Fig. 46).

#### Debilidades

- El precio actual del Fuel oil encarece la producción de Clinker
- Obtención de licencias ambientales para el manejo de residuos peligrosos y no peligrosos.
- Obtener el stock suficiente de combustibles alternativos para una alimentación constante.
- Mantener el consumo de Fuel Oil en el Horno 1 por falta de equipos capaces de minimizar los impactos ambientales.

ÇA partir del año 2017 se ve una significativa reducción de Fuel Oil (Fig. 46); el combustible que en su mayor parte ha reemplazado este consumo ha sido el Petcoke (por ser el combustible de mayor disponibilidad y aporte de energía); sin embargo, también aporta NOx (que se encuentran en los límites admisibles); la matriz que buscamos debe ser capaz de aportar energía a un valor menor o igual al Petcoke y sin impacto en NOx.

## Amenazas

- Incremento de precio reflejado en el cliente.
- Daños en los equipos producto de las pruebas industriales con combustibles alternativos.
- Incumplimiento de la normativa ambiental por el uso de nuevos combustibles alternativos.
- Estabilizar el proceso, entrenamiento a operadores de panel.

Los impactos del decreciente uso de Fuel Oil son en realidad oportunidades para el desarrollo de nuevos combustibles en la matriz, las amenazas nos incentivan a buscar alternativas de productos que a su vez impulsan el desarrollo local de empresarios y al manejo responsable de los desechos industriales; en la Fig. 46 se indica la evolución de los productos como también su cantidad de consumo, que es positiva y creciente.

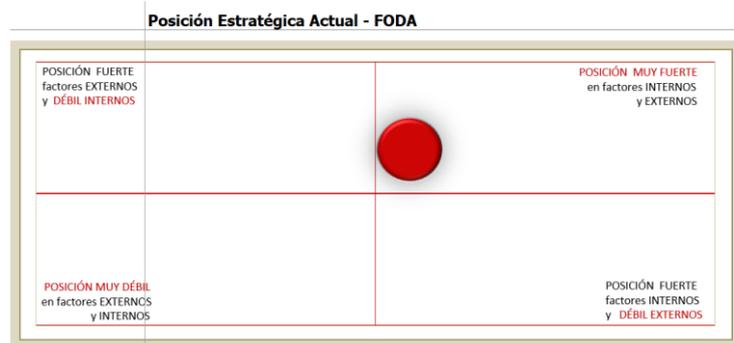


Figura 47 Diagrama ponderado FODA

Utilizando la herramienta de mejora continua se realiza una estrategia en base a los 4 pasos claves del Ciclo de Deming (Planificar, hacer, verificar y actuar).



Figura 48 Diagrama Ciclo de Deming

Para nuestro caso de investigación, el ciclo de Deming propuesto se ha completado en todas sus etapas (Fig. 48). La implementación de la solución para otros puntos de consumo es analizada con una visión amplia de beneficio para la empresa como también para el desarrollo de nuevos proveedores y gestores para otro tipo de materiales considerados como pasivos ambientales que aportan energía para un proceso técnicamente controlado y responsable con el medio ambiente.

Otros tipos de beneficios que se pueden encontrar por la implementación del TDF en la industria del cemento son:

“El Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), con el objetivo de incentivar al sector público y privado, a emplear nuevas y mejores prácticas productivas y de servicios, desarrolló PUNTO VERDE como una herramienta para fomentar la competitividad del sector industrial y de servicios, comprometiéndolos con la protección y conservación del ambiente” (Fig. 49).



Figura 49 Obtención de Punto verde

“La aplicación de Buenas Prácticas Ambientales en edificios se establece mediante una comparación de indicadores -de por lo menos dos años de ejecución- de actividades en los ejes temáticos de gestión de desechos, gestión de papel, uso eficiente de agua, energía y combustibles; capacitación y compras responsables” (AcuerdoMAE, 2010).

Certificación de “Empresa Eco eficiente”



Figura 50 Certificación Punto verde

Tomado de: (MinisterioDelAmbiente, 2012).

“Está dirigido a empresas de producción y servicios que cuente con la Licencia Ambiental correspondiente y demuestren uno o más casos de Producción Limpia (Fig. 50). Si la empresa presentara cuatro casos simultáneamente o en

un período de hasta 2 años, se le otorgará la máxima certificación como Empresa Eco-Eficiente” (Acuerdo Ministerial 225MAE, 2010).

#### 4.3. Análisis financiero de la implementación

Los equipos detallados en el punto 4.1.1 han sido cotizados y se presenta la tabla No. 14 como presupuesto para su implementación.

Tabla 15

*Presupuesto para instalación de sistema de alimentación de TDF*

Ítem	Descripción	Monto estimado (USD)
1	Fabricación y montaje mecánico	\$ 52,000.00
2	Equipos y montaje eléctrico	\$ 10,000.00
3	Unidad hidráulica y montaje	\$ 14,000.00
4	Accesos y pasamanos	\$ 5,000.00
5	Imprevistos	\$ 8,100.00
	Suman USD	\$ 89,100.00

La inversión representada en la Tabla No. 15 fue efectuada para la obtención de valores para el presente caso de estudio, cuyos valores fueron esenciales para determinar los productos que pueden ser considerados como combustibles alternativos dentro de la matriz de combustibles.

#### 4.4. Diseño implementación/Plan de acción

- a. Diseñar un sistema para alimentación manual de combustibles alternativos hacia el Precalentador de la línea de producción No. 2
- b. Obtener la licencia ambiental para el co procesamiento de desechos peligrosos como trozos de llantas (TDF), aceite usado, medicinas.
- c. Garantizar el abastecimiento continuo de materiales (combustibles alternativos) para incluirlos dentro de la matriz de combustibles de la Planta cementera.
- d. Realizar pruebas industriales y analizar el poder calórico de combustibles que puedan considerarse beneficiosos para la empresa.
- e. Realizar mediciones en línea desde las chimeneas propias de la línea No. 2 y, además, realizar el monitoreo de dioxinas y furanos de la línea en una operación normal y en la línea con co procesamiento.
- f. Realizar un seguimiento diario del monitoreo ambiental para la inclusión de cada combustible inyectado por el nuevo sistema instalado de Co procesamiento, según las capacidades específicas de diseño (Ver Anexo 1).
- g. Con el resultado de la inclusión de combustibles alternativos en la línea de 2 se debe analizar la optimización del sistema haciéndolo automático para el actual punto de inyección y otro nuevo punto en la línea de producción No. 1.
- h. Con los resultados ambientales de la inclusión de combustibles alternativos se puede sacar un historial de consumos en los Hornos para presentarlos ante la autoridad ambiental y gestionar la obtención de Punto Verde.

Análisis de los beneficios esperados:

*“Todas las empresas de producción o de servicios, que dispongan de licencia o ficha ambiental emitidas por el MAE y además desarrollen proyectos de*

*Producción más Limpia pueden obtener la certificación de Punto Verde, los beneficios de la certificación son los siguientes:*

- Obtiene una Certificación a sus procesos limpios por la aplicación de medidas preventivas y logro de un desempeño ambiental eficiente.*
- La facultad de utilizar el logo “Punto Verde” en los envases de sus productos, empaques, afiches, pancartas, gigantografías, etc., como un medio de publicidad y marketing, siempre y cuando se indique bajo el logo la razón por la cual fue entregado.*
- Mejora su competitividad e imagen corporativa, al aumentar el valor agregado y preferencia comercial de sus productos y servicios, lo cual posibilita el acceso a nuevos mercados.*
- Incrementa sus beneficios económicos al mejorar el control de los costos.*
- Atrae inversionistas y fuentes de financiamiento, particularmente de aquellos con conciencia ambiental.*
- Aumenta la motivación de los empleados y el conocimiento de sus procesos y productos.*
- Reduce los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida del producto o servicio.*
- Logra procesos más eficientes con menor uso de materias primas, agua y energía; reduce en cantidad y toxicidad la generación de desechos y emisiones.*
- Facilita la identificación y gestión de los requisitos legales, lo que contribuye a mejorar las relaciones con los entes reguladores y reduce el riesgo de sanciones de la autoridad ambiental.*
- Incorpora el concepto de mejoramiento continuo.*
- Incrementa la imagen de sustentabilidad de la empresa y del país con productos de exportación competitivos, sobre todo en su componente ambiental.*
- Incorpora consideraciones ambientales en el diseño y desarrollo de productos y servicios” (MinisterioDelAmbiente, 2012).*

Los beneficios esperados para la industria cementera se representan en la (Fig. 51).



Figura 51 Beneficios de la certificación

Tomado de: (Ambiental, 2011).

*“La Certificación Ecuatoriana Ambiental, implica importante beneficios; tanto desde el punto de vista económico como ambiental, para los diferentes partes involucradas. Desde la perspectiva empresarial los beneficios son los siguientes”* (MinisterioDelAmbiente, 2012).

### Categorías para Proyectos a Punto Verde:

Los proyectos que se pueden presentar para la certificación, pueden aplicar en cualquiera de estas 5 categorías:

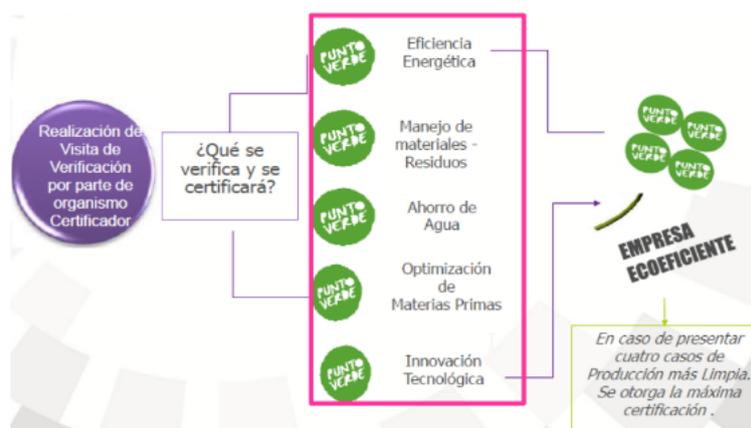


Figura 52 Categorías para certificación Punto verde

En los últimos años, el Ministerio de Ambiente (MAE) ha fortalecido el marco normativo y de control referente a la gestión de residuos sólidos urbanos y especiales.

Las llantas usadas pertenecen al grupo de residuos especiales (Registro Oficial 856, 2012), junto con desechos como plásticos de invernadero, aceites vegetales usados, escoria de acerías, envases de químicos y agroquímicos, equipos eléctricos y electrónicos.

*“El Ministerio de Ambiente ha creado políticas relacionadas con la gestión de residuos sólidos que contemplan estrategias como la responsabilidad extendida al productor e importador”* (RegistroOficial856MAE, 2012)

*“Dentro del Instructivo para la gestión integral de neumáticos usados se fijan responsabilidades para los importadores citadas en las Disposiciones transitorias para garantizar el cumplimiento mínimo del 20% del total de neumáticos puestos en el mercado; la meta fijada es gradual en un incremento anual del 10% hasta alcanzar como mínimo el 85% de los neumáticos ingresados en el mercado”* (AcuerdoMinisterial20MAE, 2013).

La cantidad disponible de neumáticos gestionada por importadores, distribuidores y gestores ambientales irá incrementando a medida que la autoridad ambiental exija su cumplimiento.

El aprovechamiento de una correcta gestión del pasivo ambiental lo pueden usar las empresas que co procesen el residuo, siempre que se cumplan con las prohibiciones citadas en el instructivo (AcuerdoMinisterial20MAE, 2013).

Para el caso de este estudio, se calcula el número máximo de llantas que un gestor puede recuperar anualmente para incinerarlo en un horno de cemento transformándolo en energía que sustituye un combustible líquido o sólido, mostrando sus efectos ambientales y económicos favorables para el proceso

de cemento y, sobre todo, el efecto ambiental que produce el TDF en las emisiones de la industria comparándolo con el efecto de no gestionar el pasivo ambiental o gestionarlo de una manera técnicamente inadecuada (Acuerdo Ministerial 20MAE, 2013).

Con el uso del TDF en la matriz de combustibles, se puede proponer la obtención de otro Punto Verde, tema propuesto:

Utilización del caucho y acero de llanta triturada proveniente de la industria llantera, para la generación de energía calórica en la producción de Clinker, principal constituyente del cemento. Con el objetivo de mantener a la empresa con su certificación de “Empresa Eco eficiente” (Fig. 52).

Criterios de aplicación para el uso del material TDF en porcentajes de importancia:

1. ECONÓMICO (50%): Reducción de costos de producción, específicamente del precio del combustible fósil, para la generación de energía calórica necesaria para la producción de Clinker.
2. AMBIENTAL (30%): Parece que no se ha corregido el formato en los siguientes párrafos
  - a. Reducción en el consumo de recursos naturales no renovables
  - b. Reducción de emisiones de gases efecto invernadero sin debido control,
  - c. Sustitución de combustible fósil (no renovable)
  - d. El uso del TDF como combustible térmico en la producción de Clinker de manera controlada minimiza el impacto de no gestionar el pasivo ambiental no degradable.
  - e. Reducir la contaminación de llantas en lotes baldíos, ríos, carreteras que arruina paisajes, ocasiona daños en los ecosistemas y en nuestra salud.

- f. Reducir la propagación de epidemias transmitidas por mosquito y otros vectores.
- g. Reducción del volumen de llantas que llegan a los rellenos sanitarios o en algunos casos llegan a ser abandonados en quebradas y ríos.

3. COMERCIAL (10%):

- a. Reducción de insumos importados.
- b. Aseguramiento de disponibilidad nacional de insumos primarios. Está basado en el reemplazo de una fracción del combustible sólido petcoke (importado) por TDF (nacional) en la producción de cemento.
- c. Reduce la exposición de la Compañía ante eventos externos que pueden demorar la provisión de esta materia prima. Se desarrollan alianzas estratégicas con proveedores para el desarrollo industrial del manejo de pasivos industriales, trabajo en conjunto con los gestores ambientales, municipalidades y el Ministerio de Ambiente, todas alineadas a los 17 objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con metas a cumplir hasta el año 2030.

4. TECNICO (10%): La utilización del TDF (Tire Derived Fuel) genera retos técnicos a resolver durante el proceso de fabricación de Clinker por las características físico - químicas del residuo para cumplir con las normas de calidad del producto en proceso y final.

En el Anexo 4 se indica el uso del TDF para el sector industrial cementero de un país vecino, con una alimentación y abastecimiento constante desde el año 2015.



Figura 53 Material TDF

Tomado de: (Tillman, 2004).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

El aporte calórico del Tire Derived Fuel (TDF) y su precio por GJ, según lo analizamos en el Capítulo 3, hace que el material sea considerado atractivo para incluirlo en la matriz de combustible por su bajo coste y poder calorífico alto, (aproximadamente se lo conseguiría en 2,1 Gj/Usd).

Las pruebas industriales realizadas en la nueva instalación permitieron demostrar que el material alimentado de manera constante no afecta a la calidad del producto ni al medio ambiente. Esto lo podemos evidenciar en el estudio de Dioxinas y Furanos, donde el valor de Horno con Co procesamiento fue de 0,066 ngTEQ/m<sup>3</sup> (Anexo 3).

La sustitución del Petcoke no solo nos ayuda a disminuir el coste de producción, sino que también nos ayuda a disminuir la utilización de equipos que consumen gran cantidad de energía eléctrica; el análisis del reemplazo del petcoke por TDF simulado en el capítulo 3, nos refleja un posible ahorro de 118.752,30 USD anuales con el 5% de sustitución en la línea 2. Este punto de introducción del material es uno de cuatro puntos en donde se lo puede introducir en el proceso; para ello, la empresa está desarrollando nuevos diseños de instalaciones para que nuevos combustibles alternativos puedan ser co procesados en el proceso.

El impacto de los combustibles en los costes de producción se evidencian en el Capítulo 4, sin embargo, la evolución de la industria cementera evidencia que la disminución del uso del crudo residual (Fuel Oil) por combustibles alternativos es en sí una oportunidad para buscar optimizar los procesos con fuentes de energía limpia o fuentes que contribuyen a la gestión ambiental de residuos de otros sectores industriales; para el caso de estudio, el reemplazo

de combustibles fósiles por combustibles alternativos en general ha llegado al 30% de sustitución para ambas líneas de producción.

La inversión realizada para que sea posible la alimentación de combustibles alternativos al Precalcinador se ejecutó con el objetivo de alimentar TDF de manera constante; las instalaciones actuales permiten que el ingreso se lo haga de una manera manual, es decir con intervención humana (el recurso humano se considera dentro del coste del material según lo analizamos en el Capítulo 3). También se han probado otros tipos de materiales como: drogas incautadas, documentos del Consep, fundas plásticas y papel, fundas de cemento y mangas de filtros; los dos últimos productos son generados por la propia industria cementera y gestionada por la misma, generando un ciclo cerrado de producción y buscando llegar a “Zero Waste”.

La transformación del TDF en energía es una práctica común en países desarrollados; las industrias cementeras en estos casos han llegado a sustituir el 100% del Fuel Oil por combustibles alternativos provenientes de residuos. En América del Sur no se ha visto un potencial desarrollo de utilizar los residuos por factores del entorno que por lo general son políticas gubernamentales; hoy en día, muchos países están alineados a los 17 objetivos del Desarrollo Sostenible impulsado por las Naciones Unidas, de manera que es la oportunidad de invertir en tecnología para que la industria cementera local pueda introducir en sus procesos cualquier tipo de residuo sin generar un mayor impacto en sus indicadores y, sobre todo, ayudando al medio ambiente a destruir estos pasivos ambientales que, por lo general, no tienen un manejo adecuado y llegan a tardar muchos años en degradarse.

## **5.2. Recomendaciones**

Tomando en cuenta el creciente y acelerado uso de combustibles alternativos para cubrir el uso de combustibles fósiles, es necesario realizar este tipo de estudios de investigación para demostrar que es viable y económicamente

beneficioso para un determinado tipo de industria, siempre y cuando se lo haga de la mano de la autoridad ambiental y cumpliendo los estándares de calidad que exige la norma para los productos, así como también los sistemas internos de gestión basados en las ISO 9001 y 14001.

Los indicadores ambientales de las fuentes de estudio y los valores obtenidos con las pruebas industriales reflejaron los valores de aquellos factores claves que son medidos constantemente por la autoridad, es una vía que debe ser aprovechada por el sector industrial cementero que, independientemente de ganar por su consumo, es también una gestión insignia para la región sobre el manejo responsable de residuos. El uso de este tipo de materiales para su transformación en energía, junto con los objetivos de optimización de energía eléctrica consumida, le permitirá a la empresa certificarse en la norma ISO 50001; el manejo de los nuevos productos es un factor para mantener un mejoramiento continuo de las certificaciones actuales e incluirlo al sistema de gestión integrado existente.

Los planes de inversión deben ser enfocados a la tendencia de reemplazo de este tipo de combustibles provenientes de residuos industriales como también de residuos que son un problema ambiental por su manera de gestionarlos en las municipalidades; se pueden buscar otros procesos industriales para incentivar al desarrollo de la gestión ambiental, como también se puede incentivar desde los hogares de cada trabajador los objetivos de cuidar el medio ambiente y buscar metodologías de reciclaje y recolección (Objetivo No. 11 de ODS (Ciudades y comunidades sostenibles)).

A futuro se puede investigar la inclusión de otros tipos de combustibles alternativos provenientes de residuos industriales, residuos agrícolas y residuos manejados por las municipalidades para su aprovechamiento como energía calórica en la industria del cemento.

Las plantas cementeras deben estar preparadas en tecnología para manejar este tipo de residuos, cumpliendo con los porcentajes de sustitución y permaneciendo entre los límites permisibles de gases emitidos a la atmósfera. El cumplimiento de las Ordenanzas exigidas por la autoridad ambiental cada vez será más estricto, factor importante para el manejo responsable de los pasivos ambientales por la futura disponibilidad de materiales al alcance de la industria cementera. Se pueden mantener y apoyar las iniciativas gubernamentales para el control y cumplimiento de Ordenanzas ambientales para todo sector productivo alineándose de tal manera al Objetivo No. 17 de ODS (Alianzas para el logro de los objetivos).

## REFERENCIAS

- AcuerdoMAE. (2010). *Acuerdo Ministerial 131*. Recuperado el 04 de Diciembre de 2016, de Ministerio del Ambiente: [www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/AM034.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/AM034.pdf)
- AcuerdoMinisterial20MAE. (2013). *Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación y Control de la Contaminación por Sustancias Químicas Peligrosas, desechos peligrosos y Especiales*. Recuperado el 05 de Agosto de 2016, de Gestión Integral de Neumáticos Usados: <http://suia.ambiente.gob.ec/acuerdos-ministeriales>
- AcuerdoMinisterial225MAE. (2010). *Acuerdo Ministerial 225*. Recuperado el 28 de Octubre de 2016, de Certificación Ecuatoriana Ambiental Punto Verde: [http://suia.ambiente.gob.ec/documentos?p\\_p\\_id=20&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&\\_20\\_struts\\_action=%2Fdocument\\_library%2Fview&\\_20\\_folderId=185880](http://suia.ambiente.gob.ec/documentos?p_p_id=20&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_20_struts_action=%2Fdocument_library%2Fview&_20_folderId=185880)
- Ambiental, S. d. (2011). *Mecanismo para otorgar la certificación ecuatoriana ambiental "Punto verde"*. Recuperado el 17 de Enero de 2017, de Procesos Limpios: [www.ambiente.gob.ec/wp-content/.../06/Mecanismo-Certificacion-Punto-Verde..pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/.../06/Mecanismo-Certificacion-Punto-Verde..pdf)
- Araujo, A. (2015). *Cuatro industrias afectadas por el retiro de subsidios*. Recuperado el 15 de Marzo de 2016, de El Comercio: <http://www.elcomercio.com/actualidad/subsidios-industrias-combustibles-gobierno.html>
- ASTM, D. (2013). *Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (Precision Method)*. Recuperado el 25 de Junio de 2016, de <https://www.astm.org/Standards/D4809.htm>
- D1405, A. (2013). *Standard Test Method for Estimation of Net Heat of Combustion of Aviation Fuels*. Recuperado el 18 de Febrero de 2017, de <https://www.astm.org/Standards/D1405.htm>

- Duda, W. (1977). *Cemento Manual tecnológico*. Recuperado el 03 de Diciembre de 2017, de Manual tecnológico del cemento: [https://books.google.com.ec/books?id=pt20-8Ey56YC&pg=PA109&lpg=PA109&dq=Cemento+Manual+tecnol%C3%B3gico&source=bl&ots=WmDbOHhrCv&sig=P224Nx-BuhOTVy49Xdsjlw0M\\_Fcc&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjFya-u8YraAhXmqFkKHVa7CHEQ6AEIPzAD#v=onepage&q=Cemento%20Manual%20tecnol](https://books.google.com.ec/books?id=pt20-8Ey56YC&pg=PA109&lpg=PA109&dq=Cemento+Manual+tecnol%C3%B3gico&source=bl&ots=WmDbOHhrCv&sig=P224Nx-BuhOTVy49Xdsjlw0M_Fcc&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjFya-u8YraAhXmqFkKHVa7CHEQ6AEIPzAD#v=onepage&q=Cemento%20Manual%20tecnol)
- ecología, I. n. (2010). *México. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de Instituto Nacional de Ecología: <https://books.google.com.ec/books?id=lkiw3C7qzFMC&printsec=frontcover&dq=M%C3%A9xico.+Cuarta+Comunicaci%C3%B3n+Nacional+ante+la+Convenci%C3%B3n+Marco+de+las+Naciones+Unidas+sobre+el+Cambio+Clim%C3%A1tico&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiZrqnM8oraAhUiq1kKHTrVA5oQ6AE>
- Ejecutivo, D. (2015). *Decreto Ejecutivo Presidencial 799*. Recuperado el 22 de Febrero de 2017, de Decreto Ejecutivo: [www.elciudadano.gob.ec/wp-content/uploads/2015/10/d\\_799.pdf](http://www.elciudadano.gob.ec/wp-content/uploads/2015/10/d_799.pdf)
- Elías. (2012). *Los residuos como combustibles*. Recuperado el 26 de Mayo de 2016, de Librería Santa Fe: <http://www.ebrary.com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec>
- Elías, X. (2012). *Reciclaje de residuos industriales*. Recuperado el 05 de Noviembre de 2017, de Casa del libro: [www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479788353.pdf](http://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479788353.pdf)
- Fuels, C. E. (2005). *Consejo empresarial mundial de desarrollo sostenible*. Recuperado el 27 de Julio de 2017, de CO2 Emission factors for fossil fuels: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2\\_emission\\_factors\\_for\\_fossil\\_fuels\\_correction.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2_emission_factors_for_fossil_fuels_correction.pdf)

- Labahn, O. (1985). *Prontuario del Cemento*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2017, de Casa del libro: <https://www.casadellibro.com/libro-prontuario-del-cemento/9788471462480/390940>
- Lafarge. (1991). *Lafarge on line*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de Portal Lafarge.
- Lafarge. (2006). *SGI*. Recuperado el 15 de Abril de 2015, de Lafarge on line.
- LafargeMexico. (2012). *Tecnología del Cemento*. Recuperado el 15 de Abril de 2015, de Lafarge on line.
- Leal, J. (2005). *Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2016, de Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/5644-eficiencia-marco-analisis-indicadores-experiencias>
- Lebrun, C. (12 de Enero de 2016). *Mundo Constructor*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2017, de Actualidad: <http://www.mundoconstructor.com.ec/noticias/456-unacem-ecuador-es-reconocida-como-empresa-eco-eficiente.html>
- MAE161. (2013). *Acuerdo Ministerial 161*. Recuperado el 5 de Octubre de 2016, de Ministerio del Ambiente: [www.ambiente.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id...](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id...)
- Merizalde, P. (2015). *Acuerdo No. 799*. Recuperado el 14 de Marzo de 2017, de Registro Oficial: <https://www.registroficial.gob.ec/index.php/registro-oficial-web/publicaciones/registro-oficial/item/8158-registro-oficial-no-799.html>
- Michelin. (2016). *Llantas de carretera*. Recuperado el 20 de Octubre de 2016, de Michelin Especificaciones: [www.michelin.es](http://www.michelin.es)
- Ministerial, A. (2013). *Acuerdo Ministerial No. 129*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2016, de Ministerio del Ambiente: <https://www.registroficial.gob.ec/index.php/.../2409-registro-oficial-no-129.html>
- Ministerial, A. (2013). *Registro Oficial No. 937*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de Ministerio del Ambiente:

<https://www.registroficial.gob.ec/index.php/.../2409-registro-oficial-no-129.html>

- MinisterioDelAmbiente. (2012). *Ministerio del Ambiente*. Recuperado el 12 de Julio de 2016, de Punto Verde: <http://www.ambiente.gob.ec/punto-verde/naturales>, S. d. (2002). *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero*. Recuperado el 23 de Abril de 2016, de Ministerio del Ambiente: <http://suia.ambiente.gob.ec/web/tcn-bur/ingei>
- Oficemen. (2011). *Agrupación de fabricantes de cemento de España*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2016, de Oficemen: <https://www.oficemen.com/>
- Ordóñez, S. (2007). *Desafíos tecnológicos de la nueva normativa sobre Medio Ambiente Industrial*. Recuperado el 27 de Junio de 2017, de Universidad de Oviedo: [https://publicaciones.uniovi.es/catalogo/colecciones/-/asset\\_publisher/pW5r/content/desafios-tecnologicos-de-la-nueva-normativa-sobre-medio-ambiente-industrial-1;jsessionid=2F6BA1DC7CC52691EF5A930E5D2103F7?redirect=%2Fcatalogo%2Fcolecciones%3Fp\\_p\\_id%3D101](https://publicaciones.uniovi.es/catalogo/colecciones/-/asset_publisher/pW5r/content/desafios-tecnologicos-de-la-nueva-normativa-sobre-medio-ambiente-industrial-1;jsessionid=2F6BA1DC7CC52691EF5A930E5D2103F7?redirect=%2Fcatalogo%2Fcolecciones%3Fp_p_id%3D101)
- Orozco, P. (2004). *Diseño conceptual de un banco de pruebas para determinar la rigidez en llantas neumáticas*. Recuperado el 09 de Noviembre de 2016, de Secretaría de Comunicaciones y Transportes: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt239.pdf>
- RegistroOficial856MAE. (2012). *Registro Oficial No. 856*. Recuperado el 27 de Septiembre de 2017, de Ministerio del Ambiente: [http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/AM-142\\_Listados-SQP-DP-y-DE.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/AM-142_Listados-SQP-DP-y-DE.pdf)
- Reschner, K. (2006). *Scrap Tire recycling*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2016, de A summary of prevalent disposal and recycling methods: [http://www.entire-engineering.de/Scrap\\_Tire\\_Recycling.pdf](http://www.entire-engineering.de/Scrap_Tire_Recycling.pdf)
- RevistaLíderes. (2017). *Combustibles amigables para el cemento*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2017, de Revista Líderes: <http://www.revistalideres.ec/lideres/combustibles-amigables-cemento-responsabilidad-social.html>

- Salgado, J. R. (22 de Septiembre de 2010). *SILEC*. Recuperado el 13 de Febrero de 2017, de Lineamientos para Buenas Prácticas Ambientales: [http://www.silec.com.ec.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/WebTools/eSilecPro/DocumentVisualizer/DocumentVisualizer.aspx?id=AMBIENTE-LINEAMIENTOS\\_PARA\\_LA\\_IMPLEMENTACION\\_DE\\_BUENAS\\_PRACTICAS\\_AMBIENTALES&query=reciclaje#l\\_DXDataRow0](http://www.silec.com.ec.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/WebTools/eSilecPro/DocumentVisualizer/DocumentVisualizer.aspx?id=AMBIENTE-LINEAMIENTOS_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_BUENAS_PRACTICAS_AMBIENTALES&query=reciclaje#l_DXDataRow0)
- Salgado, J. R. (2011). *SILEC*. Recuperado el 26 de Marzo de 2017, de Lineamientos para la implementación de Buenas Prácticas Ambientales: [http://www.silec.com.ec.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/WebTools/eSilecPro/DocumentVisualizer/DocumentVisualizer.aspx?id=AMBIENTE-LINEAMIENTOS\\_PARA\\_LA\\_IMPLEMENTACION\\_DE\\_BUENAS\\_PRACTICAS\\_AMBIENTALES&query=reciclaje#l\\_DXDataRow0](http://www.silec.com.ec.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/WebTools/eSilecPro/DocumentVisualizer/DocumentVisualizer.aspx?id=AMBIENTE-LINEAMIENTOS_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_BUENAS_PRACTICAS_AMBIENTALES&query=reciclaje#l_DXDataRow0)
- Salgado, J. R. (2015). *Acuerdo Ministerial 5651*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2016, de Ministro del Interior: <http://www.oficial.ec/acuerdo-5651-expidense-lineamientos-implementacion-buenas-practicas-ambientales>
- Sanchez, M. (2011). *Análisis de la eficiencia medioambiental del recauchutado de neumáticos*. Recuperado el 1 de Octubre de 2016, de Cátedra para la investigación y formación de neumáticos usados: [http://www.insaturbo.com/neofiles/files/Insa\\_Catedra.pdf](http://www.insaturbo.com/neofiles/files/Insa_Catedra.pdf)
- Shulman, H. (2003). *Sustainable re-use of tyres in port, Coastal and River engineering*. Recuperado el 13 de Agosto de 2016, de Guidance for planning, implementation and maintenance: [http://eprints.hrwallingford.co.uk/186/1/SR669\\_-\\_REPRO\\_-\\_Tyres\\_Manual-mwa.pdf](http://eprints.hrwallingford.co.uk/186/1/SR669_-_REPRO_-_Tyres_Manual-mwa.pdf)
- Sobeida. (2010). *Análisis técnico-económico-ambiental del coprocesamiento de desechos en los hornos de cemento de Cuba*. Recuperado el 30 de Mayo de 2016, de Repositorio Institucional: <http://tesis.cujae.edu.cu/handle/123456789/428>
- Suárez-Barraza, M. F., & Miguel-Dávila, J. A. (2008). *Encontrando al Kaizen: Un análisis teórico de la Mejora Continua*. Recuperado el 24 de Enero de

- 2017, de Ule Revistas Universidad de León:  
<http://revpubli.unileon.es/index.php/Pecvnia/article/view/696>
- Tillman, D. (2004). *Characteristics and uses in Combustion systems*. Recuperado el 25 de Enero de 2016, de Fuels of Opportunity:  
[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=VfilvJfHncYC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Fuels+of+Opportunity:+Characteristics+and+uses+in+Combustion+systems&ots=Nr0R756gBq&sig=9CG\\_2b\\_-sBZ-gHtZuzrT3kau-Y0#v=onepage&q=Fuels%20of%20Opportunity%3A%20Characteristics%20an](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=VfilvJfHncYC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Fuels+of+Opportunity:+Characteristics+and+uses+in+Combustion+systems&ots=Nr0R756gBq&sig=9CG_2b_-sBZ-gHtZuzrT3kau-Y0#v=onepage&q=Fuels%20of%20Opportunity%3A%20Characteristics%20an)
- Valero, A. (2011). *Cerrando el ciclo de materiales*. Recuperado el 30 de Mayo de 2016, de Ecología Industrial:  
<https://www.iberlibro.com/Ecolog%C3%ADa-industrial-cerrando-ciclo-materiales-Valero/20375400180/bd>
- Zarate, R. C. (1996). *Historia del cemento portland, su fabricacion y su importancia*. Recuperado el 19 de Agosto de 2016, de Importancia del Cemento: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema7.CEMENTOS.R.pdf>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

Capacidad en volumen: 1m<sup>3</sup>

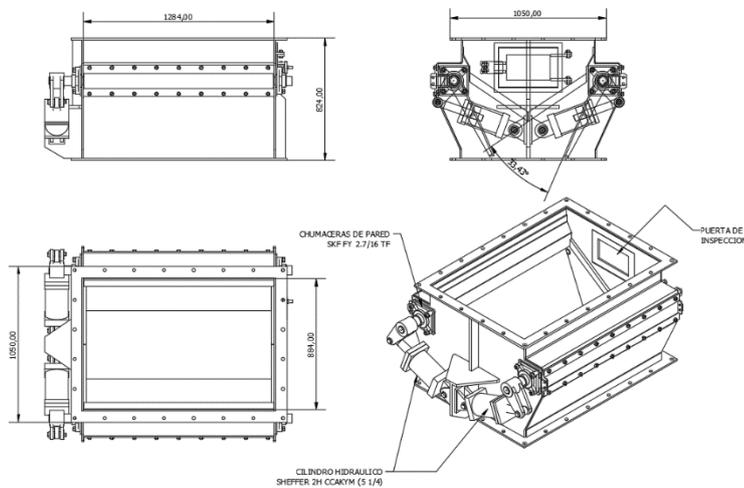
Chumaceras: De pared SKF FY 2.7/16 TF

Clapetas: Acero T1A e=10mm

Eje: Acero 705

Compuertas de Inspección

Cilindro hidráulico: Tipo Sheffer SH CCAKYM (5/4)



Se puede alimentar bloques de material con una dimensión máxima de:

(46 X 74 X 100) cm

46cm de ancho

74cm de largo

100cm de alto

De preferencia el material alimentado al sistema debe ser triturado en tamaño inferior de la malla (10 x 10) cm.

\*El material TDF disponible en el mercado está disponible en diferentes tamaños, mientras menor sea el tamaño aumenta su precio por los kilowatios invertidos para triturarlos.

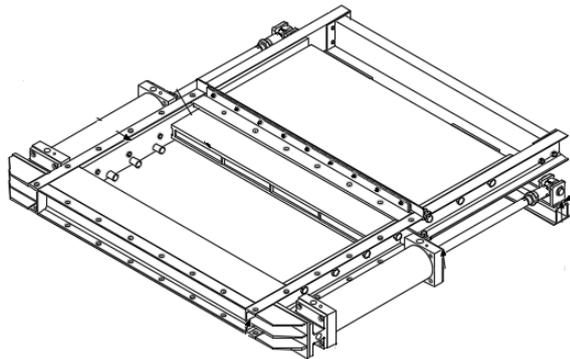
El tamaño del TDF probado en Planta cementera es de 5 x 5 cm.

### Válvula de cuchilla

Clapeta: Acero Inox 310 e=15mm (con recubrimiento refractario)

Cilindro neumático: Carrera 550mm

Estructura: UPN 140



### Unidad Hidráulica

Bomba de engranaje AZ-P-F-10-008-RAB01M

Motor eléctrico 10 HP, 220/440V, 1800 RPM

Bloque distribuidor PLC 3HSR 10-30/01C

Válvula direccional 4WE6J6X/EG110N9K4

Válvula de presión ZDBDS 6 DP 18B/200

Válvula reguladora de caudal Z2FSK6-2-10/2Q

Válvula check pilotada Z2S 6-4-6X

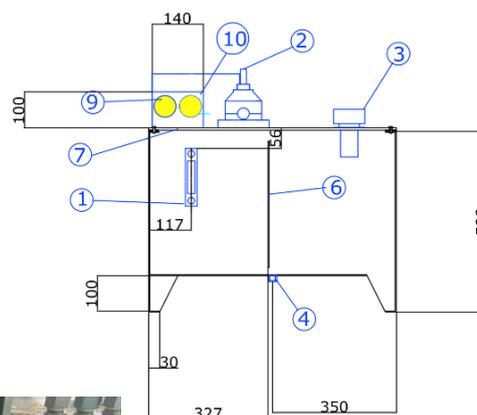
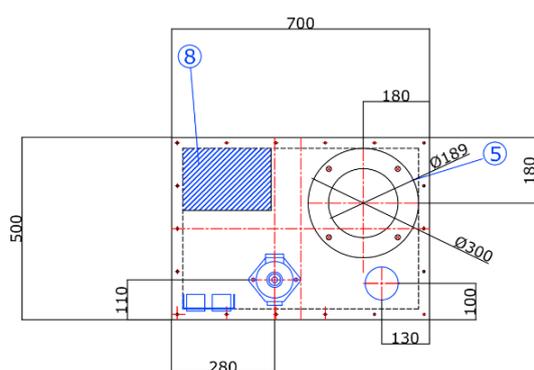
Filtro de aire FEF0 P10-F00

Indicador de nivel FSA-127-1.X/12

Filtro de retorno 10TEN0063-H10XLA00-V2,2-M-R4

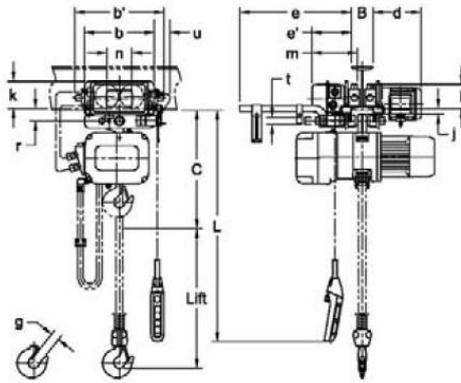
Recipiente de 20 Gl

Manómetro AB31-11/063-200 3000T inferior



Polipasto con trolley eléctrico

Polipasto motorizado de 3 toneladas con trolley eléctrico



Tablero para control de actuador neumático

Caja para control de aire

Filtro regulador de aire

Vaso contenedor de agua

Electroválvula de 2 vías



Sensores de posición para válvulas de lapetas



Cilindros Hidráulicos

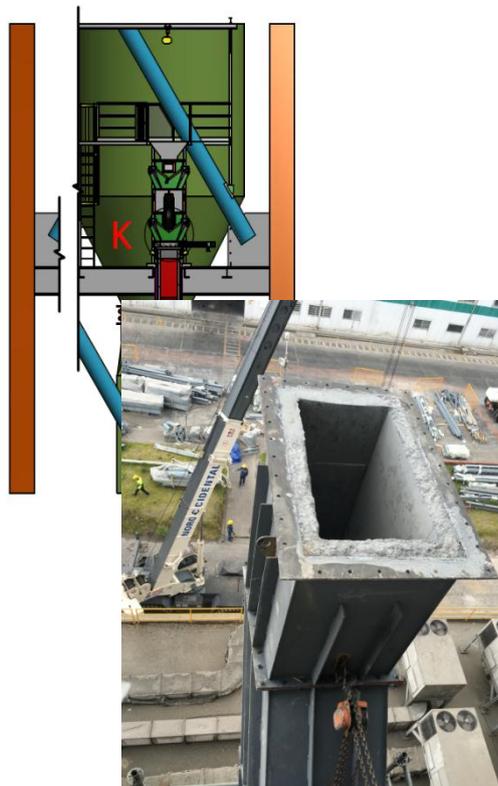
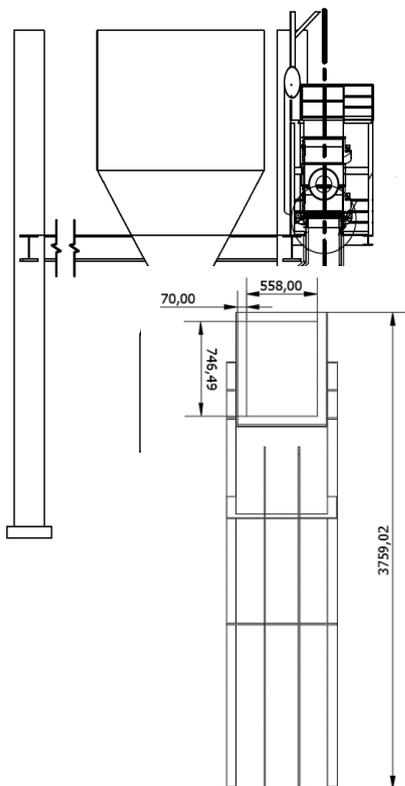




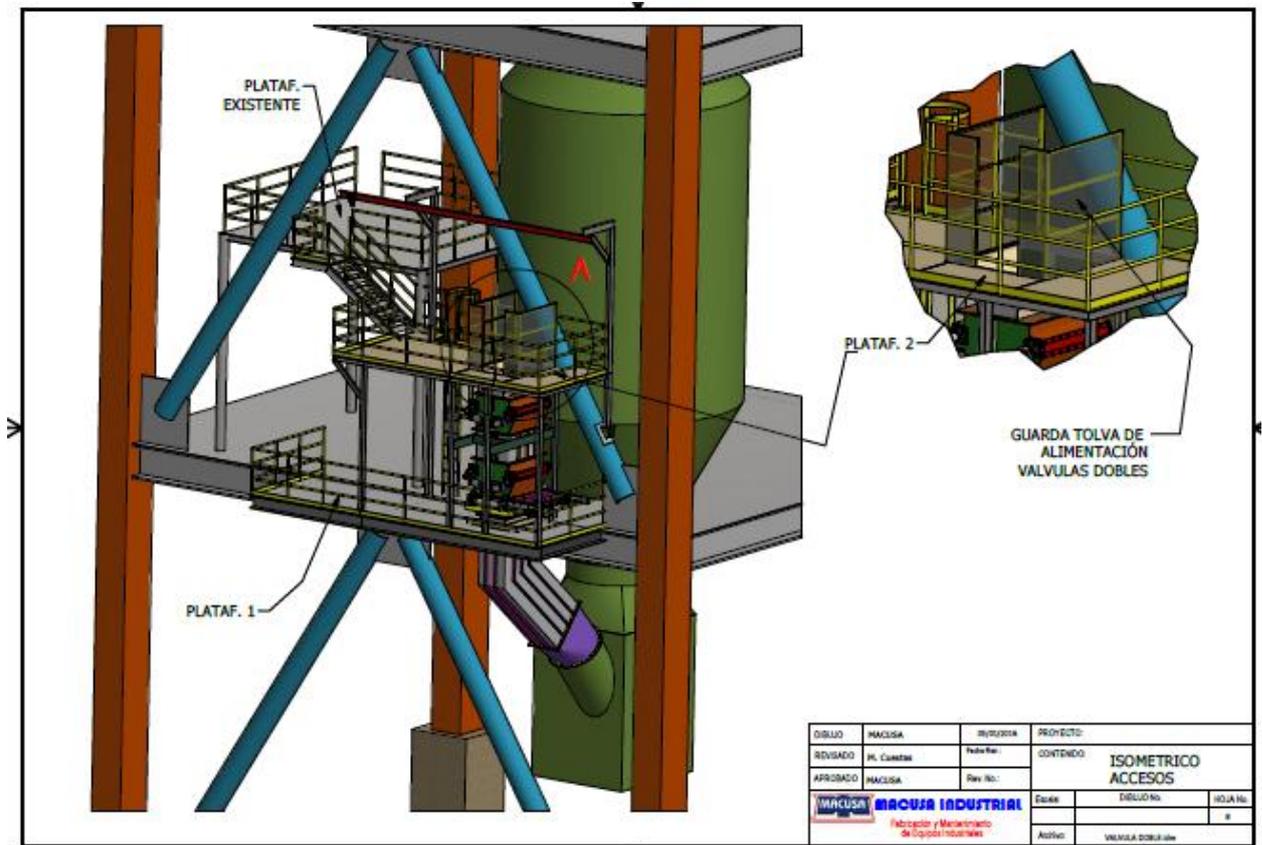
Líneas hidráulicas 4 líneas  
2 de suministro, 2 de retorno  
Pistones hidráulicos para cada clapeta

Ducto de alimentación

Recubrimiento refracto e=70mm



El proyecto comprende un sistema de doble válvula de acuerdo con los planos preparados para el efecto, accesos, guardas y demás instalaciones requeridas.



*Proyecto de Producción más limpia:*

Este proyecto aplica perfectamente a los procesos de producción más limpia, pues su objetivo principal es la disposición ambientalmente responsable de residuos y desechos propios como los de otras industrias, que de otra manera su eliminación pudiera contaminar el ambiente.





## 6. COMPARACIÓN CON LOS LÍMITES DE EMISIONES DEL REGISTRO OFICIAL N° 439 ACUERDO MINISTERIAL NO. 048 NORMA TÉCNICA PARA EL COPROCESAMIENTO DE DESECHOS PELIGROSOS EN HORNOS CEMENTEROS.

La Tabla 31 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 31. Comparación con Límites Permisibles / Emisiones UNACEM ECUADOR S.A						
Compuesto	Unidades de Medida <sup>1</sup>	Horno # 1 Línea Base	Horno # 1 Con Coprocesamiento	Horno # 2 Línea Base	Horno # 2 Con Coprocesamiento	Límite Permisible 1
HCl	mg/m <sup>3</sup>	0,294	0,403	0,393	0,534	10
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	635,5	748,2	1125,6	751,3	1400
NH <sub>3</sub>	mg/m <sup>3</sup>	2,95	3,90	3,65	3,99	30
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0	0,0	0,0	13,9	800
VOCs	mg/m <sup>3</sup>	2,99	2,55	3,40	2,28	20 <sup>2</sup>
Benceno	mg/m <sup>3</sup>	0,129	0,162	0,156	0,149	5
Material Particulado	mg/m <sup>3</sup>	41,23	56,82	48,47	54,02	80
Sb, As, Ni, Mn, Pb, Cr, V, Co, Cu	mg/m <sup>3</sup>	0,019	0,031	0,072	0,089	0,8 <sup>3</sup>
Cd y Tl	mg/m <sup>3</sup>	0,00036	0,00055	0,00060	0,00048	0,08
Hg	mg/m <sup>3</sup>	0,00003	0,00004	0,00006	0,00004	0,08
Dioxinas y Furanos	ngTEQ/m <sup>3</sup>	0,000001	0,000002	0,010703	0,066779	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.

Las emisiones de los hornos de UNACEM S.A 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 procesamiento de desechos peligrosos en hornos cementeros.

Tabla 34. Horno # 2 Línea base Datos del Proceso							
Parámetro de pruebas	Crudo alimentación (th)	Tasa de producción (th)	Horno		Precalcinador		
			Heavy Fuel Oil (HFO) Kg/h	Pet Coke Kg/h	Heavy Fuel Oil (HFO) Kg/h	Pet Coke Kg/h	PKS Kg/h
PM, HCl	117	70,3	1131	1577	0	1474	6000
Metales	122	73,4	866	1723	0	1637	6000
THC, NOx, SO2, CO	118	70,9	1136	1747	0	1102	6000
NH3	120	72,2	1084	1818	0	1236	6000
Dioxinas y Furanos	119	71,6	0	2900	0	1632	3996
Benceno	120	72,2	1084	1818	0	1236	6000
VOC's	118	70,9	1136	1747	0	1102	6000

Tabla 35. Horno # 2 con Coprocesamiento Datos del Proceso											
Parámetro de pruebas	Crudo alimentación (th)	Tasa de producción (th)	Horno		Precalcinador			Destrucción - Válvula doble			
			Acete usado Kg/h	Pet Coke Kg/h	Acete usado Kg/h	Pet Coke Kg/h	PKS Kg/h	Plásticos Kg/h	Dúplex Kg/h	Medicamentos Kg/h	Textiles Kg/h
PM, HCl	115	69,1	510 Dieléctrico	2299	498	1052	4393	50	50	12,5	12,5
Metales	114	68,5	518	2222	496	890	5299	50	50	12,5	12,5
THC, NOx, SO2, CO	115	69,1	510 Dieléctrico	2299	498	1052	4393	50	50	12,5	12,5
NH3	112	67,3	540	2166	499	843	5307	50	50	12,5	12,5
Dioxinas y Furanos	109	65,5	820	1884	860	2350	3004	50	50	12,5	12,5
Benceno	112	67,3	540	2166	499	843	5307	50	50	12,5	12,5
VOC's	115	69,1	510 Dieléctrico	2299	498	1052	4393	50	50	12,5	12,5

**6. COMPARACIÓN CON LOS LÍMITES DE EMISIONES DEL REGISTRO OFICIAL N° 439 ACUERDO MINISTERIAL NO. 048 NORMA TÉCNICA PARA EL COPROCESAMIENTO DE DESECHOS PELIGROSOS EN HORNOS CEMENTEROS.**

La Tabla 31 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 31. Comparación con Límites Permisibles / Emisiones UNACEM ECUADOR S.A						
Compuesto	Unidades de Medida <sup>1</sup>	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
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	801,2	1335,5	455,1	867,8	1400
NH <sub>3</sub>	mg/m <sup>3</sup>	2,130	3,545	2,110	6,490	30
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0	0,0	54,2	24,4	800
VOCs	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	0,00010	0,00014	0,08
Hg	mg/m <sup>3</sup>	0,0	0,0	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.

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

Tabla 34. Horno # 2 Línea base Datos del Proceso							
Parámetro de pruebas	Crudo alimentación (th)	Tasa de producción (th)	Horno		Precalizador		
			Heavy Fuel Oil (HFO) Kg/h	Pet Coke Kg/h	Heavy Fuel Oil (HFO) Kg/h	Pet Coke Kg/h	PKS Kg/h
PM, HCl	97,7	58,7	1530	1810	2419	1435	0
Metales	102,3	61,5	823	2966	2228	1205	0
THC, NOx, SO2, CO	97,7	58,7	1530	1810	2419	1435	0
NH3	114,5	68,8	849	2976	3687	1493	0
Dioxinas y Furanos	107,4	64,6	830	2989	2489	1204	0
Benceno	94,7	56,9	974	2542	2542	881	0
VOC's	100	60,1	837	2964	2409	1245	0

Tabla 35. Horno # 2 con Coprocesamiento Datos del Proceso							
Parámetro de pruebas	Crudo alimentación (th)	Tasa de producción (th)	Horno		Precalizador		
			Mezcla (aceite + HFO) Kg/h	Pet Coke Kg/h	Mezcla (aceite + HFO) Kg/h	Pet Coke Kg/h	PKS Kg/h
PM, HCl	108,4	65,2	1357	2121	876	860	4302
Metales	107,6	64,7	875	2965	1414	0	4281
THC, NOx, SO2, CO	108,4	65,2	1357	2121	876	860	4302
NH3	110,4	66,4	1296	2397	1577	575	4296
Dioxinas y Furanos	108,1	65,0	815	2957	1438	0	4280
Benceno	110,5	66,4	1306	2417	1020	648	4301
VOC's	110,1	66,2	1274	2208	1002	921	4298

## Anexo 4

### Disposición final de las llantas argos

1. 1. Disposición final adecuada de las llantas en desuso como combustible alternativo
2. [2.](#) Coprocesamiento una alternativa sostenible Pilares Ambiental Social Económico Referencia: [www.shutterstock.com](http://www.shutterstock.com) Coprocesamiento Se refiere al uso de residuos en procesos industriales, como cemento, cal, producción de acero y centrales eléctricas. Significa la sustitución del combustible y las materias primas por residuos, lo que permite la recuperación de energía y de materias primas. Desarrollo sostenible Satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Referencia: Informe Brundtland “Nuestro futuro común” 1987, p.43
3. [3.](#) Jerarquía de gestión de residuos
4. [4.](#) Fabricación de cemento
5. [5.](#) Coprocesamiento en hornos cementeros
6. [6.](#) Fuente: Oficem Fuente: Oficem Contexto mundial
7. [7.](#) Disposición de llantas usadas 2013 USA  $\diamond$  3.2 millones t/año (Porcentaje de toneladas totales generadas anualmente) Referencia: Rubber Manufactures Association, 2014 En Colombia se estima una generación anual superior a las 100.000 toneladas de llantas
8. [8.](#) Coprocesamiento en Colombia Referencia: Resolución 909 de 2008 MAVDT
9. [9.](#)  $\clubsuit$  Áreas de almacenamiento  $\clubsuit$  Acopio de material preparado  $\clubsuit$  Preparación del combustible  $\clubsuit$  Preparación previa del material  $\clubsuit$  Homogeneización  $\clubsuit$  Sistema de recepción, dosificación y alimentación al proceso
10. [10.](#) La utilización de residuos en Planta Roberta, Regional USA
11. [11.](#) Experiencia Planta Harleyville, Regional USA

12. [12.](#) Elevador Almacenamiento Banda de alimentación Inyección La utilización de residuos en Planta Comayagua, Regional Caribe
13. [13.](#) Todas nuestras plantas cumplen con altos estándares internacionales y cuenta con los requisitos legales y normativos en cuanto a emisiones y manejo de materiales. Uso de llantas troceadas en Planta Rioclaro ♣ Planta Rioclaro, Regional Colombia ♣ Sistema para alimentación de Combustibles sólidos alternativos. ♣ Capacidad de 20.000 toneladas de llantas anuales. En este sistema pueden alimentarse también otro tipo de residuos como plásticos, textiles y biomásas.
14. [14.](#) Descarga TDF Rioclaro Cargue TDF sistema de alimentación Tolva de Alimentación con TDF Interior transportador mecánico Transportador mecánico Descarga transportador mecánico a tornillo superior Tornillo superior con TDF Descarga TDF a calcinador Transportador mecánico con TDF Pila TDF Nuestro sistema en Rioclaro
15. [15.](#) Las llantas son recolectadas a través de un tercero que se encarga de la preparación del material para entregarlo en la planta. Recolección del material Logística al interior de la planta Las llantas picadas son llevadas a la tolva mediante un cargador frontal. El material preparado es transportado hasta la planta en tractomulas que tienen una capacidad de 25-30 ton. Acopio Cargador con llantas
16. [16.](#) Principios de actuación
17. [17.](#) Impactos generales Manejo integrado regional de diferentes actores que aportan al adecuado manejo de residuos disminuyendo riesgos y costos

# ¿CÓMO FUNCIONA?

## HOGAR

¡Todos los dueños de vehículos son responsables de la buena disposición de las llantas! Cuando se cambian las llantas del carro se debe asegurar su correcta disposición con entidades dispuestas para ello.

## EMPRESAS O MONTALLANTAS

Todos generamos residuos, estos residuos hoy en día van al relleno, la idea es que una fracción aprovechable, sea empleada en otros procesos como reciclaje o el coprocesamiento.

## EMPRESA ESPECIALIZADA

Encargada de tomar las llantas, prepararlas, transportarlas y llevarlas al horno. Esta fracción coprocesable será preparada para que el material sea:

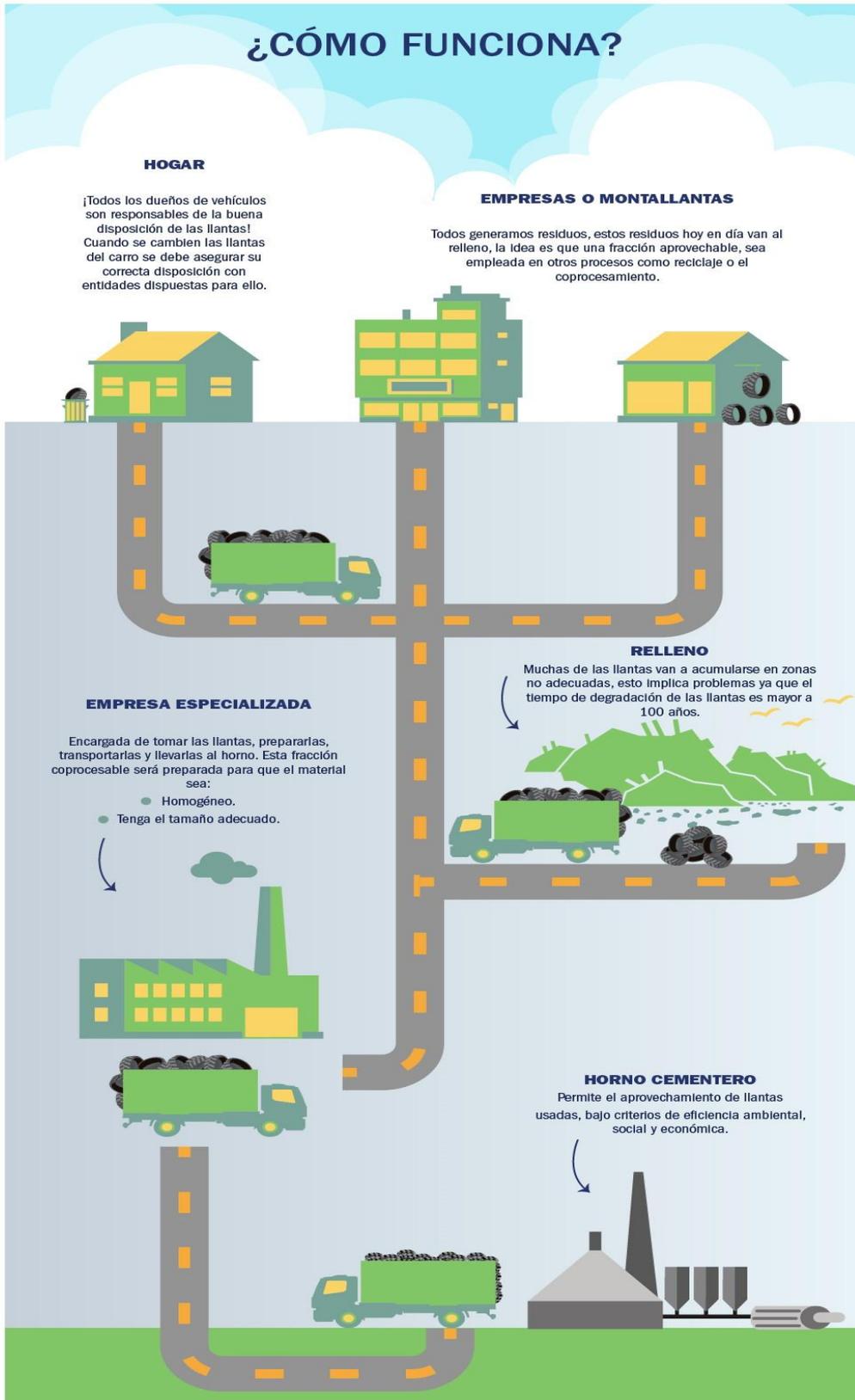
- Homogéneo.
- Tenga el tamaño adecuado.

## RELLENO

Muchas de las llantas van a acumularse en zonas no adecuadas, esto implica problemas ya que el tiempo de degradación de las llantas es mayor a 100 años.

## HORNO CEMENTERO

Permite el aprovechamiento de llantas usadas, bajo criterios de eficiencia ambiental, social y económica.

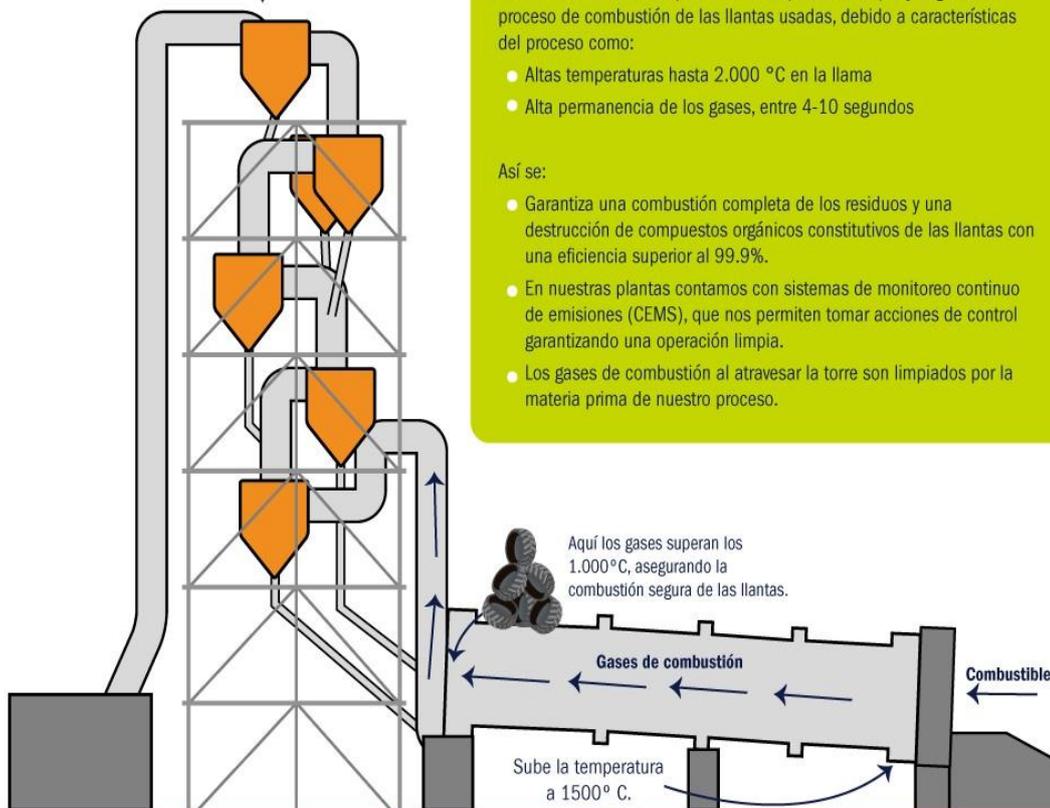


# ¿CÓMO APORTA AL HORNO CEMENTERO?

**Entra al horno la piedra caliza triturada**

**en polvo**

(materia prima del cemento)  
y otros elementos como arcilla  
(que conforman la mezcla  
del cemento).



Los gases son limpiados por filtros de alta eficiencia.

Una vez se ha hecho la combustión, las cenizas de residuo se incorporan al clinker (principal componente del cemento).

