

**UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE
LAS VILLAS**

**Facultad de Ingeniería Mecánica
Departamento de Energía**

Trabajo de diploma.

**Título: Estudio de las principales pérdidas energéticas
en el horno de clínquer y propuesta de alternativas de
recuperación del calor.**

Autor: Yoandis López Noriega.

**Tutores: Dr. Tirso Reyes Carvajal
Ing. Saúl Rodríguez Pérez**

Resumen:

El objeto del presente trabajo lo constituyen los hornos productores de clínquer en la fabricación de cemento, debido a que son los mayores consumidores de energía térmica en esta industria. En el trabajo se analizan el proceso de producción del clínquer y las condiciones de explotación a que están sometidos los hornos actualmente. Además se realizó un balance de material, un balance térmico y un análisis exergético, con el objetivo de ver los productos que entran y salen del horno y determinar las principales partes del horno por donde se pierde el calor que puede ser integrado al proceso de fabricación, para disminuir el costo de producción del cemento. Luego se conciliaron algunas alternativas de posible utilidad para aprovechar el calor que se pierde en esta área de hornos.

Summary:

The object of the present work involves producing clinker kilns in the manufacture of cement, because are the largest consumers of thermal energy in this industry. The paper analyzes the clinker production process and operating conditions that are currently under ovens. We also carried out a material balance, heat balance and exergy analysis, in order to see the products coming in and out of the oven and identify the main parts of the oven where heat is lost that can be integrated to the manufacturing process to decrease the production cost of cement. Then reconciled some alternatives that might be useful to use the heat that is lost in this area of furnaces.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Capítulo 1. Problemática sobre la necesidad de ahorrar y recuperar energía en los procesos industriales.....	6
1.1 Introducción	6
1.2 Las fuentes de energía y su importancia para el desarrollo.	8
1.3 Energías no renovables	9
1.3.1 Energías no renovables en Cuba	14
1.4 Energías renovables.....	16
1.4.1 Energías renovables en cuba.	22
1.5 La eficiencia energética como alternativa para el ahorro de la energía.	25
1.6 Desarrollos energéticos del cemento mundial.....	30
1.6.1 La energía en la industria cementera cubana.	32
1.7 Conclusiones parciales del capítulo 1	34
Capítulo 2. Caso de estudio: Empresa de cemento Siguaney.....	36
2.1 Introducción sobre la Empresa de Cemento “Siguaney”.	36
2.2 Caracterización de la producción de cemento por vía húmeda.	37
2.3 Análisis Energético Actual del Proceso a Estudiar	45
2.3.1 Balance de material	45
2.3.1.1 Materiales que Entran al horno:.....	46
2.3.1.2 Materiales que Salen del horno:	48
2.3.2 Balance térmico	49
2.3.2.1 Calor que entra al horno:	49
2.3.2.2 Calor que sale del horno:	50
2.3.3 Análisis de exergía:	53
2.4 Conclusiones parciales del capítulo 2	57
Capítulo 3: Estudio de las alternativas energéticas para el área de hornos.....	58
3.1 - Introducción	58
3.2 - Recuperación de calor en la chimenea por los gases de escape.	59
3.3 - Recuperación de calor mediante el aire que sale de los enfriadores de clínquer.	62
3.4 - Recuperación de calor por radiación y convección mediante las paredes de los hornos. ..	65
Conclusiones generales:	69
Recomendaciones:.....	70
Bibliografía.....	71
Anexo # 1: Fotografía espacial de la Fábrica de Cemento “Siguaney” y explicación de las áreas.	

Introducción.

En los últimos años con el desarrollo industrial, las grandes demandas de todo tipo de productos en el mercado internacional, y otras situaciones, han provocado un aumento considerable del consumo de los combustibles fósiles, estimulando así el crecimiento de contaminantes a la atmósfera y las aguas, iniciando impactos locales como la contaminación atmosférica en las grandes ciudades, regionales como la lluvia ácida, e incluso de alcance global como los cambios climáticos provocados por el incremento de gases de invernadero en la atmósfera. Estos impactos se producen en todos los procesos, desde la extracción de combustibles o la construcción de un embalse, hasta el uso final de la energía, pasando por los procesos de conversión, almacenamiento y distribución de los portadores energéticos. Además de tener en cuenta que en los últimos años el precio de estos portadores ha subido considerablemente, llegando a reportarse un precio máximo de 147.25 dólares el barril de crudo en el mercado internacional (Wikipedia, 2010g), este producto es una de las fuentes de energía no renovables del planeta y su demanda es descomunal, de ahí la importancia de su correcto uso y ahorro en todos los sectores de la sociedad.

Teniendo en cuenta esta difícil situación y las cada vez más rigurosas regulaciones medio ambientales, nos vemos obligados a trazar nuevas estrategias de ahorro energético como la necesidad de aprovechar el calor de diversos procesos industriales utilizándolo en nuevos procesos, con el objetivo de aprovechar al máximo los recursos con que contamos y tener una eficiencia energética que nos permita desarrollarnos social y económicamente.

Cuba presenta una alta dependencia de la importación de portadores energéticos fósiles, fundamentalmente el petróleo, para todos sus planes de desarrollo. Las causas de este problema están dadas por la pobre reserva de recursos energéticos fósiles con que cuenta el país y la mala calidad que tiene el petróleo que se extrae de estos yacimientos, además de sus propias condiciones y dimensiones geográficas, expresadas por sus particularidades insulares que no brindan ventajas tales como la explotación de grandes recursos hidrográficos, el aprovechamiento de sistemas con diferentes usos horarios y demás facilidades con que cuentan otras naciones.

Dentro de la sociedad hay varios sectores que consumen grandes cantidades de energía uno de los que requieren ser mayormente controlado son las grandes empresas, en las cuales están presente los principales consumos de energía en el país.

INTRODUCCIÓN

La industria del cemento es una de las empresas que mayor cantidad de energía consume para la elaboración de su producto, tanto que el consumo de energéticos en la fabricación del cemento representa alrededor del 45% del costo total de producción (30% los combustibles industriales y 15% la electricidad) (Autores, 1982). Ha sido de atención fundamental lograr los mayores rendimientos, elevar la productividad del trabajo, con la consiguiente disminución de los costos de producción, elevar el estado técnico de los equipos de esta industria, mejorando las condiciones y calidad del mantenimiento de los mismos, para obtener de ellos el máximo de eficiencia. El horno rotatorio es el equipo fundamental de una fábrica de cemento y es donde el consumo de combustible es preciso para la elaboración del clínquer.

En la provincia de Sancti Spíritus se encuentra la Empresa de Cemento Siguaney que es la mayor consumidora de energía eléctrica, en la actualidad esta industria del cemento consume el 10% de la electricidad de la provincia lo cual representa 23 GWh/anales de consumo aproximadamente (Siguaney, 2005 - 2008).

Actualmente la industria del cemento a nivel nacional juega un papel importante ya que cubre la demanda de este producto en el país lo que ayuda a disminuir las importaciones desde otros países, siendo utilizado en las tareas sociales de la revolución como por ejemplo la batalla de ideas con la reparación de escuelas y hospitales, además de que aporta también a la economía nacional con las exportaciones de toneladas de cemento al extranjero.

El año 2006 se llamó “AÑO DE LA REVOLUCIÓN ENERGÉTICA EN CUBA”, para el cual se llevó a cabo una serie de programas donde ingenieros y técnicos haciéndose eco de este llamado de la Revolución y el Partido, encaminan su actividad científica hacia este campo, con el fin de hallar alternativas para el ahorro y el máximo aprovechamiento de los recursos con los que contamos y así lograr un mayor servicio de las instalaciones, disminuir los costos de producción y evitar las roturas en tiempo de producción, lo que eleva considerablemente los gastos producto de la sustitución de piezas y de tiempo perdido.

Dentro de la producción del cemento el área de hornos es una de las más importantes, ya que aquí mediante el proceso de quema se obtiene el clínquer que es la base de fabricación de cemento. En esta área está presente la quema directa de petróleo crudo nacional por lo que es necesario tener en

INTRODUCCIÓN

cuenta las medidas de ahorro ya que aquí es donde mayor consumo de combustible hay, sin olvidar que el clínquer tiene que salir del horno con la calidad requerida.

Durante la quema de pasta para la producción de clínquer dentro del horno se alcanzan unos 1500°C , gran parte de la energía que proviene de este calor se pierde. En este proceso se cuenta con algunos elementos que nos ayudan a retener el calor dentro del horno, la pasta entra al horno con un 100% de humedad, la cual es mayormente absorbida por un sistema de cadenas que por transferencia de calor evaporan el agua, y también se cuenta con una pared de ladrillos refractarios que cubren las paredes del horno reteniendo el calor para una mejor quema de la pasta, pero esto no basta ya que se desaprovecha mucha energía en todo el proceso por la pérdida de calor, por ejemplo en las paredes de los hornos se estiman unos 450°C y por los gases de escape unos 180°C relativamente lo que representa una pérdida considerable de energía.

Teniendo en cuenta estos problemas, el trabajo que se realiza a continuación se basa en un estudio de los hornos de clínquer con el objetivo de obtener alternativas para la recuperación del calor perdido en las paredes de los hornos, que como se dijo anteriormente en esta área está presente la quema directa del petróleo y se pierde gran cantidad de calor que puede ser aprovechado en otros procesos, lo que ayuda mejorar la producción de cemento, con esto se cuida el medio ambiente y se contribuye al ahorro y buen uso de la energía que es uno de los principales objetivos del trabajo.

Problema científico:

No se cuenta en la fábrica de Cemento de Siguaney con un estudio de las principales pérdidas energéticas en el horno de clínquer y propuesta de alternativas de recuperación del calor.

Objetivo general

Realizar un estudio de las principales pérdidas energéticas en el horno de clínquer y propuesta de alternativas de recuperación del calor que permitan su uso en otros procesos.

Objetivos específicos

- 1-Realizar un estudio acerca de la eficiencia energética en la producción de cemento y de antecedentes de otras fábricas con respecto a la recuperación de calor en hornos.
- 2-Realizar un estudio sobre el proceso de obtención del clínquer bajo las condiciones de trabajo actual de la Industria de Cemento Siguaney
- 3-Realizar un balance de material, un balance térmico y un análisis exergético para determinar los mayores potenciales de calor en esta área de hornos.
- 4-Proponer las alternativas para la recuperación de calor en los hornos, y el posterior uso que se le dará al calor en su integración al proceso.

Hipótesis:

A partir del estudio del proceso de obtención del clínquer, de las condiciones de trabajo del horno, del balance de material, del balance térmico y el análisis exergético de las zonas del horno, pueden determinarse algunas vías que den solución a la recuperación del calor perdido y su integración al proceso, disminuyendo así el consumo de energía y con ello el incremento de la eficiencia energética en la producción de cemento.

Tareas

Las tareas que se derivaron de este objetivo planteado fueron:

- 1 Conformar una biblioteca personal mediante el gestor bibliográfico EndNote y realizar una revisión bibliográfica que permita conocer el desarrollo de la industria cementera a nivel internacional y nacional.
- 2 Hacer un estudio sobre el desarrollo de la Industria Cementera Internacional y plantear las características actuales de la Industria de Cemento Nacional y en especial las de la Fábrica de Cemento “Siguaney”
- 3 Elaborar los parámetros de trabajo actuales con los que opera la industria caso de estudio.
- 4 Proponer una serie de alternativas que den al traste algunas de las formas más viables de

recuperación del calor en los hornos de clínquer de la Fábrica de Cemento “Siguaney”

- 5 Elaborar recomendaciones que, según el grado encontrado de factibilidades de aplicación de las alternativas, puedan llevar a su total aplicación.

Los aportes de este trabajo de diploma son:

Un estudio detallado sobre las condiciones de los hornos de clínquer de la Fábrica de Cemento Siguaney.

Aun serie de alternativas para la posible recuperación de las pérdidas de calor en los hornos de clínquer de la Fábrica de Cemento Siguaney.

Repercusiones esperadas

En lo Científico y Tecnológico: este trabajo contribuye al aumento de los conocimientos de la Industria cementera, y de la Fábrica de Cemento Siguaney en especial, y de las herramientas de control energético como son los balances térmicos, energéticos y exergético, que si bien son técnicas conocidas por todos, no son muy aplicables en las industrias para ver el rendimiento de estas.

En lo Económico: al plantear las alternativas de recuperación de calor se da la oportunidad de estudiarlas más profundamente y crear, una vez aplicadas estas, un aumento de las ganancias económicas debido a la disminución de los portadores energéticos.

En los Social: el conocimiento de las pérdidas energéticas y las posibles alternativas de recuperación de estas pérdidas crea en las personas, tanto en los trabajadores del sector del cemento o de otras industria, una conciencia de ahorro energético para los posibles cambios tecnológicos que pueda sufrir la industria una vez que se tome como medida recuperar las pérdidas que se generan.

En lo Medio Ambiental: una vez que se creen las condiciones para la aplicación de estas alternativas de recuperación del calor, las emisiones al medio ambiente de gases contaminantes provenientes de la quema del combustible disminuirían debido a que este proceso de la producción de clínquer sería mucho más eficiente.

Capítulo 1. Problemática sobre la necesidad de ahorrar y recuperar energía en los procesos industriales.

1.1 Introducción

La energía posibilita y facilita toda actividad humana. Las diferentes fuentes y sistemas de producción y uso de energía utilizadas por el hombre han marcado las grandes etapas en el desarrollo de la sociedad humana, dependiendo el curso de este de las selecciones energéticas realizadas en cada momento. A través del transcurso del tiempo el hombre pasó del empleo de su fuerza muscular al uso de diversas fuerzas para satisfacer sus necesidades, el empleo del fuego, la utilización de la tracción animal, y finalmente el dominio de las tecnologías del carbón, el petróleo y el gas natural, y la producción y uso del vapor y la electricidad.

Desde esta perspectiva, la historia de la humanidad no ha sido más que su control y dominio sobre las fuentes y tecnologías energéticas, llegando a la situación global actual, la que se basa en la utilización de los combustibles fósiles, los cuales se extinguen, son altamente contaminantes, y están concentrados en pocas regiones de la tierra en manos de grandes consorcios transnacionales y que son utilizados de forma muy ineficiente.

La energía carece de valor y significado si no entrega lo que se necesita de ella: luz, frío, calor, fuerza y movimiento, transporte y comunicación. Es en el uso final donde se concreta el beneficio de esta.

El inicio del tercer milenio representa para la humanidad la encrucijada de una nueva elección energética, frente al agotamiento de los combustibles fósiles por una parte, pero sobre todo, por la amenaza de una catástrofe ecológica, al rebasarse los límites de la capacidad del planeta para asimilar sus negativos impactos. Según científicos de todo el mundo nos encontramos sobre la línea de “no retorno”, estamos llegando a límites nunca antes alcanzados, respecto a consumos de combustibles, emisiones de gases nocivos, y efectos de todo esto sobre el medio ambiente.

El agotamiento de los combustibles fósiles y el daño irreversible que se ocasiona al medio ambiente es previsible, exige del amparo de nuevas estrategias en materia de energía, como base de un modelo de desarrollo sostenible, que permita satisfacer las necesidades energéticas de la

generación actual y preservar las posibilidades para que las futuras generaciones puedan también encontrar soluciones para satisfacer las suyas. Se hace necesario encontrar un modelo que posibilite mejorar la calidad de la vida con más y mejores servicios energéticos, que distribuya más equitativamente los beneficios del progreso económico, pero de una forma racional que permita respetar y cuidar las comunidades de seres vivos, no sobrepasar los límites de la capacidad del planeta para suplir fuentes de energía y asimilar los residuos de su producción y uso; un modelo que posibilite, en definitiva, integrar el desarrollo y la conservación del medio ambiente.

La satisfacción de estos servicios energéticos por una vía basada en los combustibles fósiles, conjuntamente con el desarrollo industrial, el crecimiento de la población y su concentración en grandes urbes, ha alterado significativamente algunos ciclos vitales en el planeta, por lo que se necesitan sistemas energéticos que satisfagan las demandas de la humanidad basados en las fuentes de energía renovables como por ejemplo la luz solar, los recursos hidráulicos con que contamos y el aire y otros que pueden ser utilizados de forma saludable sin alterar el ecosistema y la naturaleza.

Es innegable y un derecho legítimo que el desarrollo en los países más atrasados requiere incrementos en el consumo de energía, pero sería imposible seguir el camino de los países desarrollados, pues se sobrepasarían los límites de la capacidad del planeta para absorber los impactos asociados a la producción y el uso de la energía.

Son muy disímiles las situaciones en los países desarrollados y en los subdesarrollados en cuanto al acceso a los servicios energéticos y al consumo de energía comercial. Cerca de 2000 millones de personas no tienen acceso a la electricidad. Una cifra similar continúa cocinando con combustibles convencionales. Son abismales las diferencias en el consumo de energía por habitante. Mientras que un norteamericano consume más de 14000 kWh/año de electricidad, un indio no llega a 300 kWh/año, o sea 43 veces menos. Sin hablar de otros países más pobres aún como el caso de Bangladesh, en donde el consumo de electricidad per cápita no alcanza los 100 kWh/año. (Nordelo & Yanes, 2006a, 2006b)

Teniendo en cuenta lo anterior se puede ver la necesidad de trabajar con las fuentes de energía renovables. No tiene discusión, el mundo está teniendo graves problemas medio ambientales, la

escasez de los combustibles fósiles y su dominio por las grandes transnacionales es cada vez mayor por lo que se tiene que luchar por una mejor eficiencia energética.

1.2 Las fuentes de energía y su importancia para el desarrollo.

El avance de la ciencia y la tecnología no necesariamente tiene un efecto positivo en la calidad de vida de los seres que habitamos en este planeta, a diario recibimos noticias sobre el efecto invernadero, la lluvia ácida, la contaminación causada por los motores de combustión interna, el retraso mental ocasionado en muchos niños por los altos niveles de plomo en su sangre, por lo que es necesario que la sociedad progrese pero también es necesario cuidar el medio ambiente y la humanidad. Mientras que avanzamos en el del siglo XXI, el desarrollo científico y tecnológico ha tomado un ritmo tan vertiginoso que, en ocasiones, parece amenazar el futuro de la misma sociedad que lo impulsa.

El agotamiento de los recursos, el derroche energético y la agresión al medio ambiente, como consecuencia de la producción energética, son los problemas que más preocupan a los gobiernos como gestores de los recursos, y a la sociedad en su conjunto. Las reservas energéticas existentes se pueden extraer con la tecnología disponible a un precio competitivo. Esto supone que las reservas estimadas en la actualidad pueden aumentar de manera espectacular por las mejoras de los sistemas de obtención de la energía. Pero no será así siempre, pues a medida que se agoten estas reservas su forma de extracción será cada vez menos fiable para un precio asequible lo que haría que este aumente y la dependencia de este recurso como forma de obtención de energía hace que el precio se exceda aún más.

Teniendo en cuenta todo lo anterior se considera que la ciencia debe enfocarse a alcanzar un mayor beneficio para la humanidad y para lograrlo deberían darse más recursos para impulsar la investigación en las siguientes áreas: (Anónimo, 2008a)

1. Desarrollo industrial y tecnológico que no cause el deterioro del medio ambiente.
2. Divulgación de la ciencia para que los ciudadanos tengan un mejor nivel de conocimientos y puedan tomar mejores decisiones.

3. Mecanismos para regular el aumento de la población y lograr que todos los seres humanos cuenten con una alimentación balanceada y tengan acceso a los servicios de atención médica, educación, etcétera.
4. Uso racional y eficiente de la energía.

Respecto a este último punto, se debe tener en cuenta que el uso de la energía solar, la energía eólica y otras fuentes renovables de energía, representan oportunidades para que la humanidad cuente con una gran cantidad de energía limpia, esto es con muy bajo impacto en el medio ambiente.

Por desgracia, el costo para crear nuevas tecnologías y mantener centros de investigación, así como la inercia de muchos años de consumir otros combustibles, han impedido que las fuentes limpias de energía se vuelvan de uso cotidiano. Todavía, la mayor parte de la humanidad obtiene la energía quemando recursos no renovables como el petróleo, o materiales como la leña, un recurso difícilmente recuperable, ya que la destrucción de los bosques es un proceso mucho más rápido que la reforestación.

Para reducir el consumo de combustibles será necesario incrementar el uso de energías renovables, como la biomasa, el viento y la energía solar. También será útil generar electricidad con base en plantas hidroeléctricas o geotérmicas.

1.3 Energías no renovables

Las energías no renovables se encuentran vinculadas a ciclos geológicos de formación. El elevado consumo agota las reservas a una velocidad mucho mayor que el tiempo necesario para que se formen de nuevo, ya que este proceso dura miles de años. (Anónimo, 2008c)

El carbón, el gas natural y el petróleo son las principales energías no renovables. Todas ellas tienen las siguientes características. (Anónimo, 2008c)

- Agotamiento progresivo con su consumo.
- Cubren mayoritariamente la demanda mundial.
- Reparto geográfico desigual.

- Explotación costosa y perjudicial para el medio ambiente.

Dentro de estas energías no renovables el más importante es el petróleo ya que su utilización en estos momentos es vital para el desarrollo de la sociedad. El petróleo es un mineral natural combustible de color oscuro y está formado por una amplia gama de hidrocarburos y otros componentes como hierro, vanadio y níquel y agua emulsionadas. Su origen se encuentra en la descomposición de organismos acuáticos, animales y vegetales, en medios carentes de oxígeno y sometidos a calor y presión. Los yacimientos se encuentran protegidos generalmente por capas impermeables y bolsas de gas natural en la parte superior. La localización de yacimientos petrolíferos es una tarea complicada y costosa. Se calcula que el 60% de este recurso se encuentra bajo el mar y para su extracción se instalan plataformas marinas flotantes o sujetas sobre pilares a la roca. (Anónimo, 2008c)

En la Tabla 1.1, se puede ver datos bastantes recientes sobre los 15 países más consumidores de petróleo, como se observa esto tan solo es una pequeña parte de los casi 210 países que consumen combustible fósil para la producción de energía.(Wikipedia, 2010f, 2010g)

Tabla 1.1 Listado de los países más consumidores de combustible fósil. Fuente: (Wikipedia, 2010f)

<i>País Consumidor (2008)</i>	<i>(1000 bbl/día)</i>	<i>(1000 m³/día)</i>	<i>Pobl. en Millones</i>	<i>bbl/año per cáp.</i>
<i>Estados Unidos</i>	<i>19,497.95</i>	<i>3,099.9</i>	<i>314</i>	<i>22.6</i>
<i>China</i>	<i>7,831.00</i>	<i>1,245.0</i>	<i>1345</i>	<i>2.1</i>
<i>Japon</i>	<i>4,784.85</i>	<i>760.7</i>	<i>127</i>	<i>13.7</i>
<i>India</i>	<i>2,962.00</i>	<i>470.9</i>	<i>1198</i>	<i>0.9</i>
<i>Rusia</i>	<i>2,916.00</i>	<i>463.6</i>	<i>140</i>	<i>7.6</i>
<i>Alemania</i>	<i>2,569.28</i>	<i>408.5</i>	<i>82</i>	<i>11.4</i>
<i>Brasil</i>	<i>2,485.00</i>	<i>395.1</i>	<i>193</i>	<i>4.7</i>
<i>Arabia Saudita (OPEC)</i>	<i>2,376.00</i>	<i>377.8</i>	<i>25</i>	<i>33.7</i>
<i>Canadá</i>	<i>2,261.36</i>	<i>359.5</i>	<i>33</i>	<i>24.6</i>
<i>Corea del Sur</i>	<i>2,174.91</i>	<i>345.8</i>	<i>48</i>	<i>16.4</i>
<i>México</i>	<i>2,128.46</i>	<i>338.4</i>	<i>109</i>	<i>7.1</i>
<i>France</i>	<i>1,986.26</i>	<i>315.8</i>	<i>62</i>	<i>11.6</i>
<i>Irán (OPEC)</i>	<i>1,741.00</i>	<i>276.8</i>	<i>74</i>	<i>8.6</i>
<i>Reino Unido</i>	<i>1,709.66</i>	<i>271.8</i>	<i>61</i>	<i>10.1</i>
<i>Italia</i>	<i>1,639.01</i>	<i>260.6</i>	<i>60</i>	<i>10</i>

En la tabla 1.2 se observa que esta última década se ha comenzado a depender menos de las fuentes no renovables de energía, pero este estimado no significa que sea suficiente, debido a que

la diferencia en este período de tiempo es casi insignificante.(Anónimo, 2008a)

Tabla 1.2. Porcentaje de la energía total que proviene de cada una de las fuentes indicadas a nivel mundial.(Anónimo, 2008a)

	2000 (porcentaje)	2010 (porcentaje)
Combustibles sólidos	30.3	30
Petróleo	41.2	40.1
Gas	23	24.7
Energía Nuclear	2.52	2.13
Hidroelectricidad	2.86	2.85
Solar, Geotérmica, Biomasa, etc.	0.081	0.13

FUENTE: Departamento de Energía del Reino Unido, a través de su página electrónica cuya dirección es <http://www.energyinfo.co.uk>

De acuerdo con los datos mostrados, todo parece indicar que de no existir un mayor nivel de conciencia en nuestra sociedad, no se dará la importancia debida al desarrollo de fuentes limpias de energía. Por esta razón, las sociedades científicas se preocupan por aumentar el conocimiento científico entre la población en general. Solo con base en una mejor educación y con la participación de todos se puede lograr la eliminación de una próxima crisis.

Según informes elaborados por la Energy Information Administration, del Gobierno de Estados Unidos el consumo de petróleo en el mundo se espera que aumente de 83 millones de barriles diarios en el 2004 a 97 millones de barriles diarios en el 2015 y 118 millones en 2030 (Anónimo, 2008b). En el año 2006, por ejemplo, la demanda anual era de 84,45 millones de barriles. La subida de los precios del petróleo impide un pronóstico sobre el consumo en muchas partes del mundo, particularmente en mercados consolidados y economías en transición.

En enero de 2007, las reservas de petróleo en el mundo ascendían a 1.317,6 billones de barriles, distribuidas tal y como se indica en la figura 1.1(Anónimo, 2008b). Las mayores reservas se encuentran en Oriente Medio, América del Norte y en mucho menor porcentaje África. Las reservas de petróleo en Europa están principalmente representadas por los países del Este y sobre todo por los países que pertenecieron a la extinta URSS.

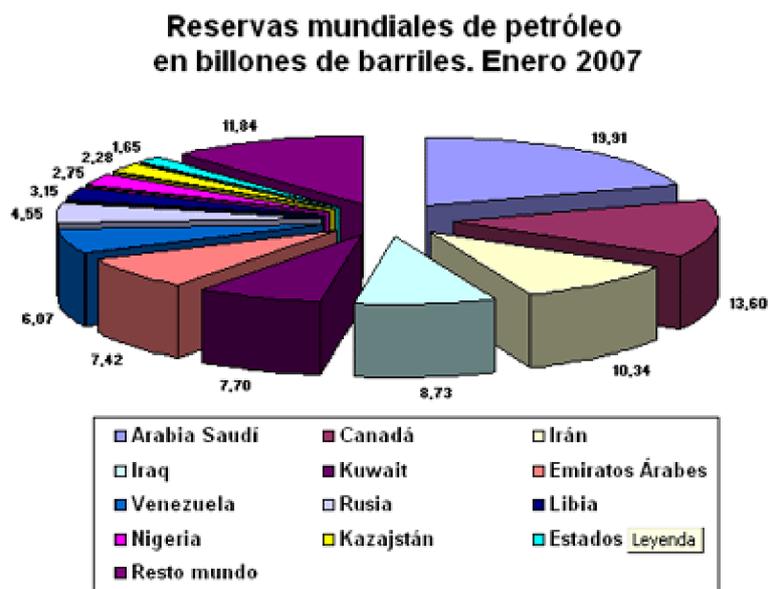


Fig. 1.1 Representación de las reservas mundiales de petróleo. Fuente: (Anónimo, 2008b)

Los hidrocarburos siempre fueron un buen negocio para las grandes empresas de ahí su valor, históricamente el petróleo ha tenido sus variaciones en cuanto al precio del barril en el mercado internacional. El West Texas Intermediate, de referencia en EE. UU., es el precio que se le da a un barril de petróleo considerándose un barril como 159 litros de petróleo, 42 galones. El precio del petróleo rondaba los 25 dólares en septiembre de 2003(Wikipedia, 2010h). A mediados de agosto de 2005, el precio subió por encima de los 60 dólares por barril, llegando a estar el 29 de agosto de 2005 a unos \$70,85 el barril. Aunque estos precios no superan los alcanzados en años anteriores, teniendo en cuenta que durante la crisis de 1980, llegó a superar los \$90 por barril, en dólares actuales.

En España y Europa se toma como referencia el barril de crudo Brent, su diferencia respecto al WTI suele ser de uno o dos dólares menos.

Desde abril de 2006, hasta el presente, el precio del petróleo ha roto su propio récord mes a mes, llegando en Mayo de 2008 a más de 133,17 dólares por barril. Posteriormente a comienzos de Junio de 2008 el precio, tanto de los barriles WTI como Brent, superó los 140 dólares, reportándose como el último precio máximo el 11 de Julio, y fue de 147.25 dólares el Brent, 146.90 dólares el WTI. (Wikipedia, 2010h)

Luego de lo ocurrido en el 2008 estos precios fueron descendiendo tanto que al finalizar el 31-12-2009, el crudo WTI marcó un precio de 79,36 dólares por barril, posteriormente el precio del petróleo el 31-03-2010 cerró a 83,76 dólares el barril.

A continuación se muestra en la figura 1.2 la variación del petróleo en el mercado internacional desde 1970 hasta el 2010 en dólares por barril y la figura 1.3 la cual muestra un gráfico de la evolución de los precios del petróleo (1996-2009).

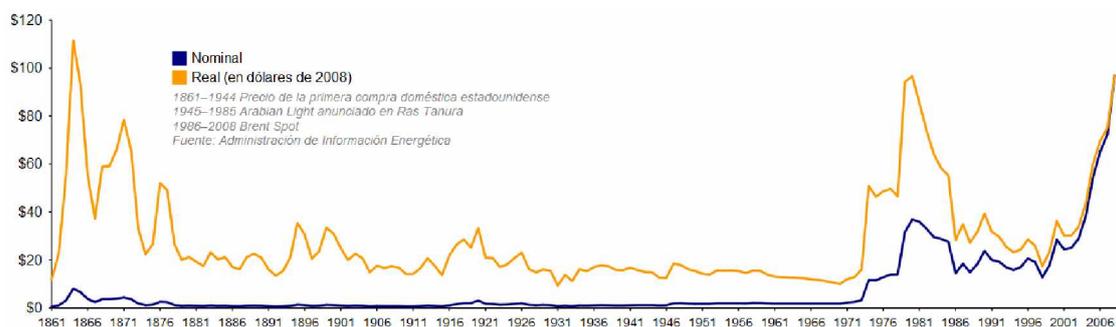


Fig. 1.2 Gráfico de la evolución de los Precios Reales y Nominales del petróleo (1861-2007).

Fuente: (Wikipedia, 2010e, 2010h)



Fig. 1.3 Gráfico de la evolución de los precios del petróleo (1996-2009). Fuente: (Wikipedia, 2010j)

1.3.1 Energías no renovables en Cuba

En Cuba también existen yacimientos de petróleo y una historia acerca de la extracción de crudo a nivel nacional. En el año 1881 comienza la producción de petróleo del país, con la perforación de cuatro pozos en Motembo en la zona de Corralillo, antigua provincia de Las Villas, estos pozos resultaron productores de nafta a la profundidad de 300m. En 1914 es descubierto el pequeño yacimiento Bacuranao, en la provincia de La Habana, que tuvo su mayor producción en la década del 30. A mediados de los 40 fue descubierto el yacimiento Jarahueca a partir de manifestaciones en superficie, el mismo tuvo una declinación muy rápida. En 1954 se encontró una producción industrial al perforarse el pozo Echevarría-1 en la zona de Jatibonico, lo que provocó el inicio de una fiebre de búsqueda que se extendió de 1954 a 1957. En este período se descubrieron los yacimientos pequeños de Cristales, Catalina (ambos en la Cuenca Central) Santa María del Mar y Peñas Altas, ambos en la costa norte de La Habana. Debe destacarse que el desarrollo del campo Cristales se realizó en el período revolucionario. Los trabajos geofísicos del barco Vladimir OBRUCHEV en 1967 - 1969, permitió el descubrimiento de los yacimientos Guanabo-Brisas (1968), Vía Blanca y Boca de Jaruco en 1969. Posteriormente en 1971 son descubiertos los yacimientos Chapelin, Camarioca y Varadero con la utilización del método sísmico de exploración. Durante los años 1972 - 75 hubo un salto en el conocimiento geológico del país desde el punto de vista petrolero, al ejecutarse en colaboración con la desaparecida Unión Soviética un amplio programa de trabajos regionales (geofísicos, geológicos y de perforación) y de generalización de toda la información existente. (Morales, 2005)

La producción de petróleo en 1999 fue de 23079.2 MT, proveniente de los diferentes yacimientos existentes.

La extracción del país tiene un coeficiente de explotación medio del 94%, el 58% de la producción corresponde a CUPET y el 42% restante es producido con las compañías extranjeras. El 85% del crudo extraído es pesado y viscoso con un alto contenido de azufre que se destina a la generación de más del 30% de la electricidad que se consume en el país. De igual forma todo el combustible que necesita la industria del cemento se abastece del crudo nacional, que también se dedica en parte a la producción de asfalto. (Morales, 2005)

Posteriormente el 27 de diciembre del 2004, el presidente de Cuba Fidel Castro dio a conocer una muy importante noticia, acerca de un nuevo yacimiento de petróleo. El descubrimiento fue dado a conocer por la firma canadiense Sherritt-Peberco, donde el nuevo yacimiento de petróleo que se encuentra situado en la costa norte próxima a La Habana, cuenta con unas reservas extraíbles de 100 millones de barriles de crudo semipesado. Según expertos consultados, este hallazgo podría garantizar la autosuficiencia energética de la isla a medio plazo y animar a otras compañías petroleras a continuar las exploraciones en Cuba.

El 14 de diciembre del 2004 se inició el ensayo en el primer pozo exploratorio, situado en la zona de Santa Cruz del Norte, a 55 kilómetros de La Habana. Los resultados son prometedores. El pozo Santa Cruz 100 produjo entre el 14 y el 19 de diciembre 1.000 toneladas de crudo de 18 grados API, con muy poca agua, buena presión de producción y un contenido de azufre inferior al 5%. Se trata del primer descubrimiento de un yacimiento de petróleo desde 1999 y los análisis arrojan que el crudo es de mejor calidad que el hallado hasta ahora en la zona. (VICENT, 2004)

Esta se ubica en la denominada Franja Norte Cubana de Crudos Pesados, un área de 200 kilómetros de largo y entre 10 y 20 kilómetros de ancho, que se encuentra en explotación desde hace años. Según datos del Ministerio de Industria Básica, sus reservas probadas son de 100 millones de toneladas, pero es un crudo de baja calidad, a pesar de lo cual se emplea en la isla en la producción de electricidad.

Estas aproximadamente 14 millones de toneladas por su mejor calidad permiten que este petróleo sea refinado, en mezcla con crudos más ligeros. Otro dato a tener en cuenta es que el descubrimiento no se circunscribe al área de Santa Cruz del Norte, sino que abarca otras tres estructuras en las zonas de Tarará, Guanabo y Jibacoa.

Además de las prospecciones realizadas en tierra, desde la década pasada la isla abrió a la inversión extranjera los 59 bloques en que están divididos los 112.000 kilómetros cuadrados de su zona de exclusión económica en el golfo de México para que compañías petroleras realizaran exploraciones a riesgo. Repsol y Petrobras ya han contratado varios de estos bloques y han realizado prospecciones en aguas profundas(VICENT, 2004). En la figura 1.4 se muestra la zona del nuevo yacimiento al norte de la provincia de Pinar del Río.(Abdalla et al., 2008)



Fig. 1.4 Zona del yacimiento de petróleo. Fuente: (Abdalla et al., 2008)

Según expertos extranjeros del sector, el descubrimiento del nuevo yacimiento es importante en sí, pero también por las perspectivas que abre de nuevas exploraciones. Y por lo que puede suponer para cumplir el viejo sueño cubano de alcanzar la autosuficiencia energética. Cuba consume diariamente 150.000 barriles de petróleo, de los cuales obtiene de sus propios yacimientos 75.000. Venezuela suministra a Cuba aproximadamente unos 53.000 barriles a precios preferenciales. (VICENT, 2004)

1.4 Energías renovables.

La degradación ambiental, el desequilibrio energético entre países desarrollados y en vías de desarrollo y el agotamiento de recursos combustibles son factores que nos obligan a encontrar energías alternativas para el desarrollo de nuestra sociedad. Estas energías alternativas son aquellas que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación. Mediante estas energías alternativas se ha propiciado el desarrollo de energías renovables, que son aquellas fuentes de energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales. (Wikipedia, 2010c)

Las energías renovables tienen varias características comunes: (Anónimo, 2008c)

- Tienen un impacto ambiental menor o nulo respecto a las energías tradicionales.
- Exigen generalmente inversiones costosas.
- Son inagotables o muy abundantes.

- Suponen el aprovechamiento de recursos naturales.

Las fuentes renovables de energía pueden dividirse en dos categorías: no contaminantes o limpias y contaminantes. Entre las primeras:(Wikipedia, 2010c)

- El viento: energía eólica.
- El calor de la Tierra: energía geotérmica.
- Los ríos y corrientes de agua dulce: energía hidráulica.
- Los mares y océanos: energía mareomotriz.
- El Sol: energía solar.
- Las olas: energía undimotriz.

Las contaminantes se obtienen a partir de la materia orgánica o biomasa, y se pueden utilizar directamente como combustible (madera u otra materia vegetal sólida), bien convertida en bioetanol o biogas mediante procesos de fermentación orgánica o en biodiesel, mediante reacciones de transesterificación y de los residuos urbanos. Estas tienen el mismo problema de los combustibles fósiles las cuales mediante su combustión emiten gases contaminantes al medio ambiente. (Wikipedia, 2010c)

Energía hidráulica

Dentro de estas energías renovables tenemos la energía hidráulica, que es la energía potencial acumulada que existe en los saltos de agua que puede ser convertida en energía eléctrica. El uso de esta energía se basa en aprovechar la energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador eléctrico, se puede decir que es la más utilizada dentro de las renovables. (Wikipedia, 2010c)

Energía eólica

Otra fuente de energía renovable es la eólica la cual surge del aprovechamiento del movimiento del aire. Así han surgido parques eólicos en los que se instalan numerosos aerogeneradores que convierten la energía del viento en electricidad. El aerogenerador es un generador de corriente eléctrica a partir de la energía cinética del viento, es una energía limpia y también la menos costosa de producir, lo que explica el fuerte entusiasmo por esta tecnología. (Wikipedia, 2010c)

La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Sin embargo, el principal inconveniente es su intermitencia.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores. A finales de 2007, la capacidad mundial de los generadores eólicos fue de 94.1 gigavatios. Mientras la eólica genera alrededor del 1% del consumo de electricidad mundial, representaba, en el 2007, alrededor del 19% de la producción eléctrica en Dinamarca, 9% en España y Portugal, y un 6% en Alemania e Irlanda. Alemania es el país líder del mundo en energía eólica con 20.622 MW instalados en el 2007. Un tercio de la energía eólica del mundo se está generando en este país, que en 2005 inició la construcción de su primera planta eólica marina alemana en el Mar del Norte en la Isla Borkum. Además Europa aporta el 75% de la energía eólica mundial, con Alemania y España como países líderes. Alemania, España, Estados Unidos, India y Dinamarca han realizado las mayores inversiones en generación de energía eólica. Dinamarca es, en términos relativos, la más destacada en cuanto a fabricación y utilización de turbinas eólicas actualmente genera más del 20% de su electricidad mediante aerogeneradores, mayor porcentaje que cualquier otro país. (Wikipedia, 2010b)

El 31 de diciembre de 2008, España tenía instalada una capacidad de energía eólica de 16.018 MW (16,7 % de la capacidad del sistema eléctrico nacional), cubriendo durante ese año 2008 el 11 % de la demanda eléctrica. Se situaba así en tercer lugar en el mundo en cuanto a potencia instalada, detrás de Alemania y EEUU. (Wikipedia, 2010b)

El desarrollo de energía eólica en Latinoamérica está en sus comienzos, llegando la capacidad instalada en varios países a un total de alrededor de 473 MW, con un rendimiento en Brasil de 256 MW, México con 88 MW, Costa Rica 74 MW, Argentina 27 MW, Chile 20 MW, Colombia 20 MW, Cuba 5 MW y Perú 1 MW. (Wikipedia, 2010b)

Energía geotérmica

La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Parte del calor interno de la Tierra llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas

pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar. El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que destacan el gradiente geotérmico y el calor radiogénico. (Wikipedia, 2010c)

Energía mareomotriz

La energía mareomotriz se debe a las fuerzas que originan las mareas. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse en lugares estratégicos como golfos, bahías o estuarios utilizando turbinas hidráulicas que se interponen en el movimiento natural de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable.

Otras formas de extraer energía del mar son la energía undimotriz, que es la energía producida por el movimiento de las olas; y la energía debida al gradiente térmico oceánico, que marca una diferencia de temperaturas entre la superficie y las aguas profundas del océano. (Wikipedia, 2010c)

Energía solar

La energía solar la cual es la fuente primaria de vida en nuestro planeta, sus usos principales están vinculados con la producción de agua caliente y calefacción (energía solar térmica), además mediante esta se obtiene también energía eléctrica con la utilización de paneles fotovoltaicos. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica. (Wikipedia, 2010c)

En muchos países del mundo se utiliza la energía solar para producir energía eléctrica. Alemania es desde 2004 el primer productor mundial de energía solar fotovoltaica con 363 MW, superando a Japón con 280 MW, con cerca de 10 millones de metros cuadrados de colectores de sol, que representa menos del 1% de su producción energética total. (Wikipedia, 2010d)

La mayor central de energía solar del mundo se inauguró en julio de 2005 en Franconia, Baviera. El complejo se llama *Bavaria Solarpark* y sus paneles solares cubren una superficie de 250.000 m². La segunda central más grande del mundo también está en Alemania, cerca de Leipzig. Con 33.500 paneles solares modulares monocristalinos y una capacidad de producción de 5 megavatios, la central será suficiente para abastecer a 1.800 hogares. Por su parte la Estación Central de Berlín que se inauguró en 2006 cubrirá más del 50 % de sus necesidades energéticas gracias a paneles fotovoltaicos instalados en su cubierta. El mayor fabricante europeo de productos fotovoltaicos es la compañía alemana *RWE SCHOTT Solar* con sede en Alzenau (Baviera). Esta compañía posee la planta de producción fotovoltaica más moderna y completamente integrada del mundo. (Wikipedia, 2010d)

La biomasa

La formación de biomasa a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal que a su vez es desencadenante de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos. La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado. (Wikipedia, 2010c)

En términos energéticos, se puede utilizar directamente, como es el caso de la leña, o indirectamente en forma de biocombustibles (biodiesel, bioalcohol, biogas, bloque sólido combustible). La biomasa podría proporcionar energías sustitutivas a los combustibles fósiles, gracias a biocombustibles líquidos (como el biodiesel o el bioetanol), gaseosos (gas metano) o sólidos (leña), teniendo siempre en cuenta que se debe tener mucho cuidado con su consumo descontrolado, ya que el uso de alimentos para obtener estos productos puede afectar en gran medida a poblaciones que necesitan de estos insumos para subsistir, al igual que la tala de los bosques con las que se destruye el hábitat de ecosistemas completos llevando a cabo la deforestación. (Wikipedia, 2010a)

Existen procesos termoquímicos que mediante reacciones exotérmicas transforman parte de la energía química de la biomasa en energía térmica. Dentro de estos métodos se encuentran la combustión y la pirólisis. La energía térmica obtenida puede utilizarse para calefacción; para uso industrial, como la generación de vapor; o para transformarla en otro tipo de energía, como la energía eléctrica o la energía mecánica. (Anónimo, 2001; Fernando & Royo, 2002; Wikipedia, 2010a)

En muchos países se utiliza el carbón vegetal con grandes resultados. Una industria de carbón vegetal puede ofrecer, tanto a las grandes como a las pequeñas industrias, una alternativa al uso de los combustibles fósiles, y este carbón es, en realidad, el combustible preferido por algunas industrias rurales de pequeña escala. Mezclándolo con la piedra caliza se obtiene, por combustión, cal viva, y puede también utilizarse como combustible pulverizado para producir cemento; con una tonelada, aproximadamente, de carbón vegetal, se obtienen cuatro toneladas de cemento Portland. (FAO, 2005)

Sus propiedades reductoras son también útiles en la separación de metales; al parecer, es tan bueno, si no mejor, que el carbón de coque. En Brasil, Argentina, Malasia, Australia y la India existen industrias metalúrgicas que consumen carbón vegetal. La acería brasileña Acesita, utiliza cerca de 480 000 toneladas de carbón al año para la fundición del acero, de las cuales 250 000 se obtienen de las plantaciones de eucaliptos establecidas con tal fin. El carbón vegetal tiene también muchos usos como materia prima química, para la purificación de aguas, así como para la fabricación de materias como pólvora, pigmentos, caucho y algunos piensos animales.(FAO, 2005)

También debemos tener en cuenta que los desechos de nuestra sociedad cuentan con una cantidad de energía considerable, en los Estados Unidos el 38% de la energía renovable (exceptuando a la hidroeléctrica) proviene de la valorización térmica de los residuos domiciliarios. En Suiza es el 75,7%. En este pequeño país 29 incineradores eliminan 3 millones de toneladas de desechos y producen 4.000 GWh. En Francia, 40% de los desechos son valorizados térmicamente en 130 incineradores, produciendo 9 millones de MWh. En Japón se valoriza térmicamente se incinera el 50% de la basura. En los Países Bajos esto se ha convertido en el modelo de rendimiento

energético, donde se opera en cogeneración y quema 840.000 toneladas de basura por año. (Lutgen, 2006)

En la actualidad el uso de las energías renovables representa un 20% del consumo mundial de electricidad, siendo el 90% de origen hidráulico. El resto es muy marginal: biomasa 5,5%, geotérmica 1,5%, eólica 0,5% y solar 0,05%. (Wikipedia, 2010c)

Alrededor de un 80% de las necesidades de energía en las sociedades industriales occidentales se centran en torno a la industria, la calefacción, la climatización de los edificios y el transporte (coches, trenes, aviones). Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones a gran escala de la energía renovable se concentra en la producción de electricidad. (Wikipedia, 2010c)

1.4.1 Energías renovables en cuba.

En los últimos años, el gobierno cubano decidió acelerar el desarrollo de las fuentes renovables de energía como estrategia a mediano y largo plazo, en pos de independencia económica y protección del ambiente. Junto con el aprovechamiento de la biomasa y la hidroenergía, en el país ha cobrado también especial impulso el uso de la energía eólica y la fotovoltaica, con la que se han electrificado una gran cantidad de viviendas en regiones aisladas y apartadas. En nuestro país la dependencia de la importación de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica es fundamental. En la actualidad se están llevando a cabo la realización de grandes proyectos con respecto a la integración del uso de energías renovables en nuestras redes nacionales de electricidad, además de que todavía se están haciendo estudios de otras fuentes de energía para su posterior utilización. La utilización de los recursos energéticos renovables con que cuenta el país tiene una gran importancia para la economía, ya que con la ayuda de ellos se ahorran millones de dólares en la compra de toneladas de petróleo.

Energía hidráulica.

Después de la utilización de los hidrocarburos en la producción de energía eléctrica, el papel más importante lo tiene la energía hidráulica. La precipitación anual común en Cuba es 1400 mm, en el norte de las provincias del este, el alcance de niveles de precipitación es de 3000 mm (Abdalla et al., 2008). Nuestro país cuenta con más de 170 instalaciones de tipo (pequeñas, mini y micro

centrales), ubicadas en 38 municipios y de ellas más de 150 prestan servicio en zonas montañosas y de difícil acceso, estas instalaciones producen aproximadamente más de 38 millones de kilovatios/hora, en especial para beneficio de unos 230 asentamientos rurales apartados de la red central de distribución de electricidad. Se calcula que de 26.000 a 30.000 habitantes de esas zonas del país cuentan con energía eléctrica gracias a las pequeñas centrales, que según expertos han demostrado ser una solución de fondo, duradera, poco contaminante y ambientalmente sana. (CERVANTES, 2009)

Se estima que el potencial hidroenergético del país es de unos 350 megavatios, con una generación anual cercana a los 700 GVh, capacidad equivalente a dejar de utilizar unas 300.000 toneladas de combustible convencional en las centrales termoeléctricas. La primera pequeña central hidroeléctrica de la Isla fue construida en Guantánamo en 1917 a orillas del río Guaso y cuenta con el mayor potencial hidroenergético del país. (CERVANTES, 2009; Grogg, 2004)

En el 2009 el sistema electroenergético nacional se favoreció con más de 147 MWh generados por la pequeña central hidroeléctrica de Florencia, en la provincia de Ciego de Ávila, esa cifra representa un ahorro de 283 toneladas de petróleo, que se hubieran gastado por el método térmico de obtención de energía. (CERVANTES, 2009)

La obtención de energía eléctrica por medio del agua no afecta el medioambiente, oxigena el líquido y resulta de muy bajo costo para Cuba.

Energía eólica.

La energía eólica ha sido usada en nuestro país desde hace muchos años, por ejemplo en la extracción de aguas subterráneas, con la utilización de molinos de vientos tradicionales, para el abastecimiento de agua en la agricultura y la ganadería. Posteriormente con el transcurso de los años y el desarrollo energético alcanzado en el país se realizaron estudios con respecto a los potenciales de energía eólica con que cuenta el país, dichos estudios dieron como resultado que en las áreas costeras al norte del país existen grandes vientos que pueden ser utilizados con propósitos energéticos.

Luego en los años 90 se comenzó un proceso de prospección eólica de cinco sitios de Cuba (Santa Cruz del Norte, Loma Colorada, cayo Sabinal, Tumbadero y punta de Maisí), que se prolongó hasta 1993, en próximos años se realizó la creación del primer parque eólico demostrativo en la Isla de Turiguanó, en el Norte de la provincia de Ciego de Ávila, con una potencia instalada de 0,45 MW. En la actualidad se siguen incrementando los estudios con respecto a la energía eólica, pero con la diferencia de que ya el país hoy cuentan con tres parques eólicos que juntos generan siete megavatios, y se espera que dentro de una década podrán generar más de 50 megavatios en energía eólica. Los parques ya funcionales están ubicados en las provincias de Holguín y Ciego de Ávila y el municipio especial Isla de la Juventud. A este último territorio lo quieren convertir en primer polígono de energía renovable de Cuba. (LARROSA, 2008; Martín, 2008)

Energía solar (Abdalla et al., 2008)

En nuestro país la radiación solar es relativamente fuerte en casi todo el año debido a su ubicación geográfica. La utilización de la energía solar en Cuba ha radicado fundamentalmente en llevar la energía eléctrica a lugares de difícil acceso para la electrificación, como son por ejemplo las zonas montañosas o zonas rurales muy alejadas de las ciudades. Con la ayuda de la ubicación de paneles solares en escuelas, centros médicos y casas en dichos lugares intrincados la revolución ha ayudado a brindar este servicio a muchas personas que lo necesitan.

Utilización de la biomasa como energía. (Abdalla et al., 2008)

Nuestro país desde siempre ha tenido un buen desempeño en lo relacionado con la producción de azúcar. Con grandes plantaciones de caña azucarera a todo lo largo del país este producto se convirtió en un potencial de energía importante, sobre todo para abastecer de electricidad los centrales azucareros que son grandes consumidores de energía eléctrica. De estas plantaciones la fibra, el agua, y el azúcar son usados extensamente en la industria, las formas de biomasa de caña de azúcar como el bagazo y los residuos (la paja, las partes superiores, las hojas), son combustibles sólidos obtenidos como subproductos de la industria azucarera.

El bagazo es el principal combustible sólido usado en Cuba, su combustión puede ser efectuada directamente en el proceso de producción sin cualquier tipo de condicionamiento. La industria de caña de azúcar puede usar bagazo como su propio combustible, lo cual se produce en tales

cantidades en lo que se refiere a completamente satisfacer los requisitos de energía del proceso de producción de azúcar. El valor calorífico de bagazo depende grandemente de su contenido de humedad. Una disminución en el valor de humedad aumenta la eficiencia y reduce la cantidad de aire excedente necesitado para la combustión, reduciendo así la liberación de gases contaminantes para la atmósfera.

Con una cosecha de caña de azúcar de 35 millones t equivale a 7.8 millones t de bagazo y otro tanto de residuos del cultivo de caña de azúcar como paja y otros subproductos. Como un recurso de energía, el uso completo y eficiente de todas las partes de la caña de azúcar cosechada, haría posible el ahorro de millones de toneladas de combustible convencional cada año.

1.5 La eficiencia energética como alternativa para el ahorro de la energía.

La tendencia de la energía es encarecerse cada vez más, aunque los precios fluctúen debido a otros motivos, pero una vez que los combustibles que aportan esta energía comiencen a escasear el precio de esta comenzará a subir, por ello en muchos casos uno de los principales indicadores del costo total de un producto es el costo energético, donde se incluyen los componentes relativos a la producción, distribución y uso del producto.

La eficiencia energética está entendida como eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía, necesaria para garantizar una calidad total, es parte del conjunto de problemas que afectan la competitividad de las empresas o instituciones. (Nordelo & Yanes, 2006a)

La Eficiencia Energética implica lograr un nivel de producción o servicios, con los requisitos establecidos por el cliente, con el menor consumo y gasto energético posible, y la menor contaminación ambiental por este concepto, en pocas palabras “hacer más con menos”. (Nordelo & Yanes, 2006a)

El incremento de la eficiencia energética se logra mediante las acciones tomadas por productores o consumidores que reducen el uso de energía por unidad de producto o servicio, sin afectar la calidad del mismo.

El ahorro de energía, si bien no representa una fuente de energía en sí, se acostumbra a considerarla como tal, ya que ofrece la posibilidad de satisfacer más servicios energéticos, lo que

es equivalente a disponer de más energía. El incremento de la eficiencia energética tiene un beneficio ambiental inmediato y directo, ya que implica una reducción en el uso de recursos naturales y en la emisión de contaminantes, incluido el CO₂. Sin lugar a dudas, la energía más limpia es la energía ahorrada.

La presión sobre el uso de los recursos, en especial los energéticos y los hídricos, obliga a utilizarlos cada vez de manera más racional y eficiente. La última tendencia al encarecimiento de la energía y al agotamiento de los recursos hídricos, está presionando social y económicamente a la sociedad.

El país ha cursado por varias etapas de transición energética desde incluso antes del triunfo de la revolución, pero fue después de esta donde los cambios han sido sustanciales, ya que el país entre uno de sus objetivos está el ofertarle un mejor estilo de vida a cada cubano y esto conllevó a que cada persona tenga derecho a la energía eléctrica, pero no fue hasta el período 80- 89 donde existió un adecuado balance oferta - demanda de portadores energéticos. Creciendo el consumo de energía debido al desarrollo del país a una tasa promedio anual de un 4 %. En el período 90- 93 con el derrumbe del campo socialista el incremento del bloqueo y la crisis económica que comenzó a sufrir el país, la disponibilidad de generación eléctrica decreció desde el 78 % hasta el 53 %, en prácticamente 2 años se redujo a menos del 50 %. El consumo promedio de energía eléctrica en el país en este período disminuyó en más de un 6 % anual. (Nordelo & Yanes, 2006a)

La figura 1.4 se observa la evolución de consumo y producción del combustible en Cuba.

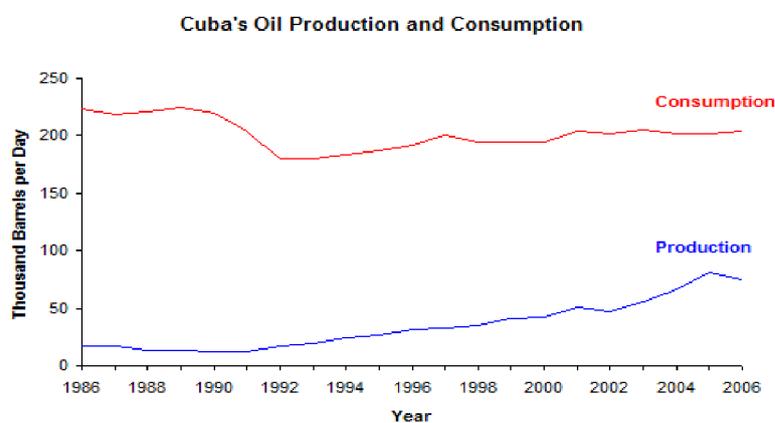


Fig. 1.4 Gráfico de la Evolución del Consumo y Producción del Combustible en Cuba (1986-2006). Fuente:(Wikipedia, 2010i)

En 1993 el país aprobó un programa de desarrollo de las fuentes nacionales de energía, este programa está basado en medidas de eficiencia energética sobre los principales portadores energéticos del país e inversiones tecnológicas donde se consideró alcanzar entre un 5 y 10% de ahorro de consumo de dichos portadores. (Nordelo & Yanes, 2006a)

Aun así, en la actualidad el aprovechamiento de los recursos que ofrece la “eficiencia energética” se ha emprendido en las empresas de una forma muy limitada, fundamentalmente mediante la realización de diagnósticos energéticos para detectar las fuentes y niveles de pérdidas, y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro de conservación energética. Esta vía además de dar solución al problema y obviar las causas que lo originan provoca una baja eficiencia energética en las empresas. Generalmente esta baja eficiencia arrastras consigo una limitación de las posibilidades de crecimiento y desarrollo con una afectación sensible del nivel de competencia, la calidad de los servicios que presta y también las pérdidas económicas son considerables; por lo que quedará rezagada respecto a aquellas que preparen sus recursos humanos y creen las capacidades permanentes necesarias para explotar este recurso, de magnitud no despreciable, en sus propias instalaciones.

La elevación de la eficiencia energética puede alcanzarse por dos vías fundamentales, no excluyentes entre sí: (Nordelo & Yanes, 2006a)

- Mejor gestión energética y buenas prácticas de consumo.
- Tecnologías y equipos eficientes.

Cualquiera de las dos reduce el consumo específico, pero la combinación de ambas es la que posibilita alcanzar el punto óptimo. La primera vía tiene un menor costo, pero el potencial de ahorro es menor y los resultados son más difíciles de conseguir y mantener, puesto que entrañan cambios en hábitos de consumo y en métodos de gestión empresarial. La segunda vía requiere de inversiones, pero el potencial de ahorro es más alto y asegura mayor permanencia en los mismos.

En el año 2006, denominado “AÑO DE LA REVOLUCIÓN ENERGÉTICA EN CUBA”, tuvo como meta, la puesta en práctica de nuevas concepciones para el desarrollo de un sistema electro energético nacional más eficiente y seguro, y un uso racional y eficiente de la energía en todos los sectores de la sociedad cubana, haciendo del ahorro de energía el sustento fundamental del desarrollo del país.

El alcance principal de los programas incluidos en la Revolución Energética en Cuba son los siguientes: (PCC, 2006.)

- Adquisición e instalación de equipos de generación más eficientes y seguros con grupos electrógenos y motores convenientemente ubicados en distintos puntos del país.
- Rehabilitación total de las redes de distribuciones anticuadas e ineficientes que afectaban el costo y la calidad del fluido eléctrico.
- Priorización de los recursos mínimos necesarios para una mejor disponibilidad de las plantas termoeléctricas del sistema electro energético y su paso a conservación.
- Intensificación acelerada del programa para incrementar el uso del gas acompañante del petróleo nacional en la generación de electricidad mediante el empleo de ciclo combinado.
- Exploración en búsqueda de nuevos yacimientos de petróleo en bloques terrestres, así como el desarrollo de los descubrimientos hechos y la explotación de los pozos de continuidad.
- Programa intensivo de investigación y desarrollo del uso de la energía eólica y solar en Cuba.
- Programa de Grupos Electrógenos Diesel sincronizados al Sistema Eléctrico Nacional (1 258 MW en 827 grupos).
- Programa de motores de fuel oil (928,9 MW en 373 motores). Este programa es de motores que funcionarán en régimen base (24 horas al día) y también sincronizados al SEN.
- Programa de Grupos de Emergencia que comprende un total de 4 158 grupos para una potencia de 711 811 kW (en hospitales, policlínicos, centros de educación, centros de comunicación, estaciones meteorológicas, instalaciones de turismo, abastos de agua, frigoríficos, panaderías y otros objetos vitales desde el punto de vista económico-social).

- Formación de más de 600 técnicos para la explotación de los grupos sincronizados al SEN, tanto operadores como personal de mantenimiento.
- Programa de rehabilitación de redes eléctricas. Construcción de 288 km de nuevas líneas de 34,5 kW y menores, sustitución de 106 000 postes dañados, aumentar la capacidad de 11 176 transformadores de distribución e instalar 16 208 nuevos, cambiar 1 276 039 acometidas y sustituir 1 745 201 interruptores inadecuados.
- Producción nacional de transformadores (hasta 15 000 unidades anuales) y proceso inversionista en la fábrica de cables ELEKA para producir conductores eléctricos de aluminio.
- Análisis del consumo y la demanda de todos los portadores energéticos como tarea de primera prioridad en los diferentes sectores de la economía.
- Concientización política, capacitación, medición y control de los índices energéticos por unidad de producción física, las tarifas y medidas de ahorro, entre otros factores.
- Diseño de medidas para vincular el cumplimiento de los índices energéticos a los sistemas de estimulación de una importante parte de las entidades económicas del país.
- Programa intensivo de ahorro de electricidad en los sectores estatal y residencial.
- Cambio de bombillos incandescentes por ahorradores (15 millones de unidades en total), sustitución de más de 2 millones de refrigeradores ineficientes y cambio más de 1 millón de ventiladores rústicos por nuevos y eficientes equipos. Sustitución de hornillas eléctricas rústicas por hornillas eficientes. Sustitución de aires acondicionados ineficientes.
- Introducción de medios de cocción eléctricos eficientes en el sector residencial en sustitución del keroseno y el gas licuado (ollas arroceras, ollas de presión eléctricas).
- Nueva tarifa eléctrica residencial con un importante impacto en el ahorro.
- Cambio de motores y bombas en los sistemas de abasto de agua para la población, para riego agrícola, para uso animal y otros bombeos, donde existen amplias reservas para el ahorro.

No solo estas fueron las tareas trazadas por la revolución energética en nuestro país, hay más, con lo anterior se demostró que el potencial de ahorro de portadores energéticos mediante acciones de eficiencia energética es notablemente superior.

Lo más importante para lograr la eficiencia energética en una empresa, no es solo que exista un plan de ahorro de energía, sino contar con un sistema de gestión energética que garantice que ese plan sea renovado cada vez que sea necesario, que involucre a todos, que eleve cada vez más la capacidad de los trabajadores y directivos para generar y alcanzar nuevas metas en este campo, que desarrolle nuevos hábitos de producción y consumo en función de la eficiencia, que consolide los hábitos de control y autocontrol, y en general, que integre las acciones al proceso productivo o de servicios que se realiza.

1.6 Desarrollos energéticos del cemento mundial

Al igual que otras actividades fabriles originadas de la primera revolución industrial, la producción de cemento tuvo a Inglaterra como cuna. En 1826 se puso en marcha la primera fábrica del material y, durante varios lustros, los productores británicos mantuvieron un control absoluto del mercado.

El cemento fue inventado en 1811 y patentizado en octubre de 1824 en Inglaterra. El término cemento Portland se empleó por primera vez en 1824 por el fabricante inglés de cemento Joseph Aspdin, debido a su parecido con la piedra de Portland, que era muy utilizada para la construcción en Inglaterra. El primer cemento Portland moderno, hecho de piedra caliza y arcilla o pizarras, calentadas hasta convertirse en carbonilla (o escorias) y después triturada, fue producido en Gran Bretaña en 1845. En aquella época el cemento se fabricaba en hornos verticales, esparciendo las materias primas sobre capas de coque a la que se prendía fuego. Los primeros hornos rotatorios surgieron hacia 1880. (Autores, 1998)

El cemento es una mezcla de piedra caliza y arcilla, triturada y calcinada hasta el punto fundente, convertida en una escoria granulada llamada clínquer que se muele con una pequeña proporción de yeso (sulfato de calcio) hasta quedar finamente pulverizada. (Autores, 1998)

Es el aglutinante básico del hormigón y de muchos otros productos que se utilizan en la construcción, tales como: mosaicos, baldosas, bloques, asbestos cemento, tubos para acueducto y alcantarillado, etc.

El producto tiene diversas aplicaciones por ejemplo para formar hormigón, pegar superficies de distintos materiales o para revestimiento de superficie a fin de protegerlas de la acción de

sustancias químicas y de la intemperie. Además de su importancia clave en la industria de la construcción, el cemento es un insumo básico en otras muchas manufacturas, como tubos, láminas y tanques de asbesto-cemento, postes, pilotes, muebles de baño e incluso casas precoladas.

Gracias a la tecnología moderna las plantas cementeras pueden ser tan limpias como laboratorios. En apariencia los problemas de la industria en materia ambiental son cosa del pasado y en los casos en que todavía subsisten la solución se considera como una simple cuestión de tiempo.

En general el ahorro de energía en la industria del cemento debe comprender la modernización de la planta, en la gran mayoría de las fábricas de cemento del mundo se lucha por una producción con la mejor eficiencia energética posible, tanto para el consumo de energía térmica que para la eléctrica. En muchos casos se cambian los procesos de producción de clínquer de vía húmeda a vía seca, aumentando así la capacidad de producción de la fábrica y reduciendo el consumo térmico. También para mejorar la eficiencia térmica del horno se instalan intercambiadores de calor y se acorta el horno, así como el uso de aditivos en el cemento y elevando la eficiencia en la molienda. (Anónimo, 2009)

También se ha trabajado en el desarrollo de los sistemas para el incremento del uso de combustibles alternativos para disminuir el consumo de combustibles tradicionales. Los combustibles alternativos mayormente usados en la producción de cemento son los subproductos provenientes de otras actividades como aceites usados, disolventes, neumáticos usados, etc. Toda esta gestión se realiza teniendo en cuenta un estricto control de aceptación de estos combustibles de manera que no se vea afectada ni la calidad del cemento ni se incrementen los niveles de emisión a la atmósfera. En estos momentos se está poniendo a prueba un nuevo combustible llamado Enerfuel el cual es un combustible derivado de los residuos sólidos urbanos. Estos desechos domésticos, que no pueden ser reutilizados y que en la actualidad van directamente a los vertederos provocando, además de peligrosas emisiones y contaminación, problemas de limpieza, olores y saturación, son los que forma parte del nuevo combustible Enerfuel.(Anónimo, 2010)

Algunas de estas iniciativas han sido clasificadas por Naciones Unidas como “Mecanismos de Desarrollo Limpio”. (Anónimo, 2010; Lafarge, 2010)

- Por ejemplo, la cementera de Arasmeta (India) utiliza la ceniza volante de las centrales eléctricas para la fabricación del cemento.
- Malasia, el 5% de la energía térmica necesaria para las plantas de cemento de Lafarge de Rawang y Kanthan se produce a partir de biomasa.
- Marruecos, cuenta con un parque eólico que proporciona el 50% de la electricidad requerida por la cementera de Tetuán.

1.6.1 La energía en la industria cementera cubana.

En nuestro país hasta el año 2010 se cuenta con la existencia de 6 fábricas de Cemento, entre estas, cuatro producen cemento mediante un proceso de vía húmeda, la “José Merceron” de Santiago de Cuba, “Mártires de Artemisa” de La Habana, “26 de Julio” de Nuevititas, Camagüey y “Siguaney” de Sancti Spíritus, las otras dos son de proceso seco, “Mariel” en La Habana y “Cienfuegos” en dicha ciudad. A continuación en la figura 1.5 se muestra la ubicación geográfica de las fábricas en nuestro país (Autores, 1998)

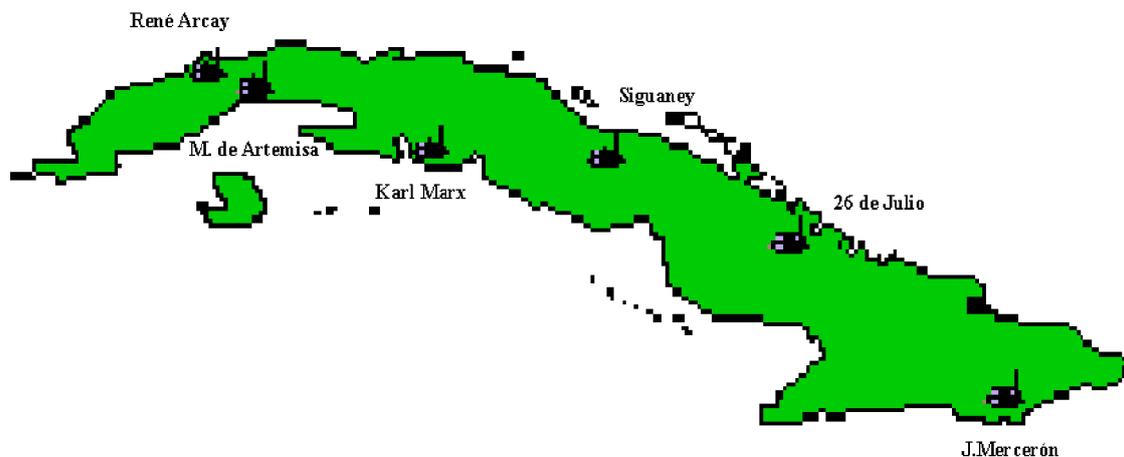


Fig. 1.5 Ubicación geográfica de las fábricas de cemento cubanas. Fuente: (Autores, 1998)

La industria del cemento Portland en Cuba, como consecuencia del proceso revolucionario y el desarrollo industrial que el mismo conlleva, ha experimentado, en su capacidad productiva, una expansión considerable en los últimos años.

Ha sido de atención fundamental lograr los mayores rendimientos, elevar la productividad del trabajo, con la consiguiente disminución de los costos de producción y elevar el estado técnico de

los equipos de esta industria, mejorando así las condiciones y calidad del mantenimiento de los mismos, para obtener de ellos el máximo de eficiencia.

En la actualidad, la industria del cemento nacional, en aquellas fábricas 100% cubanas, enfrentan grandes dificultades como son los altos consumos energéticos que representa más del 65 % de los costos de producción. La fábrica de cemento Siguaney cuenta con una tecnología de producción muy antigua y deteriorada en comparación con la maquinaria que se utiliza actualmente en la producción de cemento a nivel mundial. Estas condiciones con que cuenta la empresa actualmente llevan consigo a que la utilización de la energía no sea la más apropiada, ya que los consumos durante la producción son mayores que los predeterminados. (Autores, 1998)

Como un resultado de la evolución de la tecnología de producción del cemento en la dirección de economizar combustible en hornos de gran tamaño, han surgido varios factores que afectan la marcha continuada del horno, fundamentalmente los revestimientos refractarios.

A raíz de todo esto el Ministerio Nacional que controla esta rama industrial, el Grupo nacional de Cemento y las fábricas propiamente dichas se han propuesto llevar a cabo medidas energéticas, ya que la producción de cemento necesariamente consume tanto energía eléctrica como térmica. Dichas medidas parten desde crear conciencia de ahorro de energía en cada uno de los trabajadores hasta la actualización de la técnica, equipamientos e infraestructura de toda una fábrica.

Considerando lo anterior se justifica desde el punto de vista económico, el estudio que se realiza en el presente trabajo con relación a la recuperación del calor en las paredes de los hornos de cemento, donde se hace necesario caracterizar ante todo el proceso de producción de clínquer. También es importante evaluar, según se reporta en la literatura, los problemas por los que no sería posible la recuperación del calor, así como los resultados alcanzados hasta el presente tratándose del problema antes planteado.

Dentro de la estrategia general en materia de energía se considera como su principal fuente la aplicación de medidas que optimicen la eficiencia en el uso de los recursos energéticos y un riguroso control basado en las regulaciones económicas que aseguren un constante avance en este empeño.

Para la elaboración de este proyecto basado en las posibilidades energéticas de la Industria del Cemento de “Siguaneý” se contó con el auxilio que cuenta la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (GTEE), la cual no es más que un paquete de procedimientos, herramientas técnico-organizativas y un software especializado, que aplicado de forma continua y con la filosofía de la gestión de la calidad, permite establecer nuevos hábitos de dirección, control, diagnóstico y uso de la energía, dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de ahorro, conservación y reducción de los costos energéticos en una empresa.

Su objetivo no es solo diagnosticar y dejar un plan de medidas, sino esencialmente elevar las capacidades técnico-organizativas de la empresa, de forma tal que esta sea capaz de desarrollar un proceso de mejora continua de la eficiencia energética.

La GTEE incorpora un conjunto de procedimientos y herramientas innovadoras en el campo de la gestión energética. Es particularmente novedoso el sistema de control energético, que incorpora todos los elementos necesarios para que exista verdaderamente control de la energía.

Estudios de este tipo usando la GTEE en industrias del cemento como “Cementos Cienfuegos” dieron un potencial de ahorro de casi 3 cuartos de millón de dólares. De la misma forma ha tenido una amplia generalización en otras empresas del país, demostrando su efectividad para crear en las empresas capacidades permanentes para la administración eficiente de la energía, alcanzando significativos impactos económicos, sociales y ambientales, contribuyendo a la creación de una cultura energética ambiental. (Nordelo & Yanes, 2006a, 2006b)

1.7 Conclusiones parciales del capítulo 1

1 Después de un estudio acerca de las diferentes fuentes de energía se llega a la conclusión de que la explotación de las energías no renovables no es una alternativa para el futuro, la humanidad debe hacer cada vez más posibles la utilización de los recursos renovables. La elevada utilización del petróleo y sus derivados para el desarrollo de la sociedad está dando como consecuencia que los precios se eleven y se extingan cada vez más los yacimientos. Mientras en las industrias se trabaje con estos combustibles se debe contribuir por una eficiencia energética y cuidar por que no se derroche la energía que tanto trabajo cuesta producir.

- 2 En las industrias del cemento mundial se ha trabajado con respecto a disminuir los consumos energéticos en la producción, se han hecho investigaciones y se han realizado proyectos que han propiciado a que las fábricas de cemento sean cada vez más rentables y eficientes. Existen fábricas que trabajan con energía renovable y con combustibles alternativos lo cual implica que se obtenga el cemento con la calidad requerida y sin afectar el medio ambiente.
- 3 En nuestras fábricas los equipos de producción con que se cuenta y las condiciones de trabajo no son las mejores pero se trabaja cada día para mejorar la eficiencia energética y aumentar la producción.

Capítulo 2. Caso de estudio: Empresa de cemento Siguaney.

2.1 Introducción sobre la Empresa de Cemento "Siguaney".

De las 6 fábricas de cemento con las que cuenta el país se toma como objeto de estudio e investigación acerca de su rendimiento energético la fábrica de cemento Siguaney. Esta empresa se encuentra situada en la provincia de Sancti Spíritus, en el municipio Taguasco, en la localidad de Siguaney.

En dicha fábrica de cemento se obtienen distintos tipos de cemento que se utilizan en dependencia de las diferentes tecnologías de producción de hormigones, lo cual permite un uso eficiente del cemento tanto en la actividad constructiva como industrial. Se produce cemento gris, P-450, P-350, PP-250, es la única en el país que produce cemento blanco y también exporta clínquer gris y blanco.

En la fábrica de cemento Siguaney también se ha trabajado por la lucha de la eficiencia energética en la producción, el papel protagónico desempeñado por la empresa con respecto al ahorro de energía se puede entender si se mencionan algunos ejemplos.

Para el caso del combustible industrial se ha trabajado en los siguientes aspectos: (Pérez, 1995)

- Fue la primera en utilizar el petróleo crudo nacional en sus hornos de cemento, primeramente en los hornos de cemento gris y luego en la producción de cemento blanco.
- Cumplimiento de los parámetros tecnológicos en la quema de petróleo en el área de hornos para obtener el mayor calor posible del combustible.
- Reducir la humedad de la pasta de alimentación del horno ya que en la etapa de secado se invierten el 30% del calor total. Se le proporcionan a la pasta fluidizantes y otras materias primas para reducir la humedad de la pasta.
- Riguroso cuidado con el estado del ladrillo refractario y la formación de costra protectora en la zona de clínquerización.
- Correcta disposición y densidad de la zona de cadena que permite un mejor intercambio de calor y disminuye la temperatura de los gases de salida del horno.

En el caso de la energía eléctrica se ha trabajado en los siguientes aspectos: (Pérez, 1995)

- Cumplimiento de las productividades programadas de los equipos eléctricos de mayor consumo específicamente en el área de molinos.
- Organizar la producción y operación de los equipos con el fin evitar el derroche. Se incorporan aditivos, (desechos de la quema de bagazo), en los materiales que son intensificadores de molienda para la producción de cemento.
- Siguaney ha logrado un estudio de regulación y acomodo de carga que le ha permitido disminuir el consumo en horario pico por debajo del 6%.

A pesar de que la industria cementera es alta consumidora de energía eléctrica, Siguaney ha dado el ejemplo de ahorro sin detener la producción en estos momentos de crisis energética y económica por la que pasa el país.

2.2 Caracterización de la producción de cemento por vía húmeda.

La industria del cemento necesita grandes cantidades de energía en todas sus formas, siendo esta el principal indicador del costo en la fabricación de cemento. En la industria del cemento pueden consumirse combustibles sólidos, como lignitos, hullas, turbas, carbones, etc., líquido en los diferentes tipos de fuel, crudos, y los gaseosos dentro del cual el principal es el gas natural. Debido a las características de los hornos de las industrias cementera a mediados del siglo pasado ya algunas industrias de este tipo comenzaron a usar combustibles alternativos como lodos, aceites usados, desechos urbanos, agrícolas y forestales, neumáticos, etc., tanto ha sido el uso de estos combustibles que en la actualidad casi todas las fábricas alrededor del mundo lo han usado o aun lo usan.

El indicador de consumo por tonelada de cemento es de alrededor de 100 kWh para el proceso húmedo y un poco más, alrededor de 120 kWh para el seco como promedio aproximado. (Autores, 1982; Duda, 1977)

Además de consumir cantidades elevadas de energía eléctrica, en la producción de cemento

también se consume energía térmica, que es obtenida mediante la quema de petróleo crudo nacional. En el caso de la energía térmica, se produce y consume casi en su totalidad en la producción del clínquer en el horno, que es el proceso fundamental en la fabricación del cemento.

En una fábrica de proceso húmedo, el consumo es entre 1400 – 1500 kcal/kg de clínquer como es el caso de la industria correspondiente a nuestro trabajo investigativo, de este total de kcal se pierde una cantidad considerable ya que por las paredes de los hornos se tienen entre 450-500 °C lo que representa aproximadamente unas 420 kcal de pérdida por las paredes de los hornos.

Si se llegara a contar con algún sistema que recuperara el calor perdido en las paredes de los hornos y pudiera integrarse este calor a otros procesos dentro de la misma producción, se ahorraría una cantidad considerable de energía, disminuyendo así el costo de producción del producto. Aunque de forma general toda producción de cemento consume grandes cantidades de energía eléctrica y térmica.

En el caso de la primera, su consumo es fundamentalmente en el accionamiento de motores eléctricos de baja y media tensión para molinos de bolas, de martillos, de quijada, roller press, en compresores, bombas, ventiladores, transportadores de banda y de tablillas, elevadores, etc. y un mínimo en el alumbrado y en actividades administrativas que representan menos del 5 %. (Autores, 1982; Duda, 1977)

La Empresa de Cemento Siguaney, en la actualidad, consume el 10% de la electricidad de la provincia que representa 23 GWh/anuales de consumo aproximadamente (Siguaney, 2005 - 2008). Esto la hace la industria de mayor consumo de energía eléctrica de la provincia (Provincial, 2005 - 2008). La distribución porcentual de la energía eléctrica consumida es aproximadamente la siguiente:(Autores, 1982; Duda, 1977)

- | | |
|---|------|
| • Acarreo y almacenamiento de la materia prima. | 5 % |
| • Molienda y preparación del crudo. | 30 % |
| • Cocción. | 20 % |
| • Molienda del clínquer y entrega del cemento. | 40 % |
| • Servicios generales y auxiliares. | 3 % |

- Iluminación. 2 %

En el caso de la energía térmica, se produce y consume casi en su totalidad en la producción del clínquer en el horno. Como se dijo anteriormente para el proceso húmedo el consumo es entre 1400 – 1500 kcal/kg de clínquer. La distribución de la energía térmica sería de la siguiente forma.(Autores, 1982; Duda, 1977)

- Conjunto del horno 99 %
- Caldera y Servicios auxiliares 1 %.

La cementera es una de las industrias más mecanizadas. Su proceso productivo comprende al menos de 80 operaciones con hornos que deben funcionar día y noche sin interrupción, a temperaturas de unos 1 500 °C. El horno rotatorio es la pieza central del proceso y, por lo mismo, el principal sujeto de las innovaciones tecnológicas.

Para la producción de cemento se cuenta con un proceso largo y trabajoso que empieza en los yacimientos de materia prima, los cuales son Caolín, Arcilla, Zeolita o Toba, Caliza y Yeso, los cuales se obtienen de diferentes lugares, algunos próximos a la empresa y otros requieren ser trasladados de otras regiones fuera de la provincia.

La caliza es el principal componente del clínquer con un 70-80% y se utilizada para la producción de ambos tipos de cemento. Esta materia prima se extrae en diferentes regiones de acuerdo a su uso, para el cemento blanco se extrae caliza blanca, la cual tiene un gran % de blancura, en las cantera de “Nieves Morejón” ubicada en Guayos distante a 20 km de la planta, la otra parte es caliza gris que se extrae en la cantera de la propia planta las cuales están a menos de 1 km, el modo de extracción es por voladura a cielo abierto y su transportación por carretera. (Autores, 1998)

Para la fabricación de cemento gris se utiliza la Arcilla que es el otro componente fundamental con un 20-30% y se extrae de “Cataño” un campo cercano a la fábrica, está a unos 3 km de distancia, su transportación es por carretera y se utiliza solo para la fabricación del cemento gris. (Autores, 1998)

El hierro se extrae de Sola, región situada al norte de la provincia de Camaguey, es transportado por vía férrea hasta la planta, se utiliza solamente para la producción de cemento gris con el objetivo de que el calor de las llamas no afecten directamente las paredes del horno.

El Caolín se extrae de una cantera ubicada en Gaspar (Ciego de Ávila) distante a 130 km de la planta. Se utiliza para la fabricación del cemento blanco solamente, el modo de extracción es por voladura a cielo abierto y su transportación por ferrocarril o carretera.

El Yeso es un subproducto de las salineras al occidente del país distante a 240 km. Este producto presenta el SO₃ en un 44.06 %. Su transportación es por carretera y se usa para la producción de ambos cementos.

La Zeolita o Toba se extrae a las afuera del poblado de Siguaney a unos 5 km de distancia de la planta, es transportada por carretera. Se utiliza para el cemento gris, solo para el PP-250 con el objetivo de rebajar la calidad del P-350 para su posterior uso o exportación.

Una vez trasladada la materia prima a la fábrica es procesada según el tipo de cemento que se quiera obtener. Estas materias primas se trituran en un molino primario que las llevan a una granulometría de 4cm, donde se almacenan para su posterior homogenización. En el proceso húmedo, debido a la mezcla con agua, la homogeneización es mayor, el tratamiento de las materias primas es una de las diferencias sustanciales entre los procesos húmedo y seco, el consumo de combustible es mucho mayor en el proceso húmedo, ya que requiere evaporar el agua de la pasta dentro del horno. Posteriormente se muele esta materia en molinos de bolas, en el proceso húmedo se le añade de un 30 a un 40 % de agua una vez molida esta pasta es depositada en 3 homogenizadores para ser mezclada, 1 para blanco y 2 para gris, los cuales son como piscinas circulares, donde las pastas deben tener las siguientes características.

Tabla 2.1 Características de la Pasta Blanca. Fuente: (Elaboración Propia)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	CaCO ₃	H ₂ O(%)	MS	MA	MH	FSC	Fluidez
15.21	3.34	0.25	45.12	80.0	34 - 35	4.26	13.70	2.40	0.93	4 - 4.5

Tabla 2.2 Características de la Pasta Gris. Fuente: (Elaboración Propia)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	CaCO ₃	H ₂ O(%)	MS	MA	MH	FSC	Fluidez
14.24	3.24	2.98	42.27	75	37.2	2.25	1.12	2.06	0.9	4

Luego de estar lista la pasta, es bombeada para la alimentación a los hornos desde los tanques homogenizadores. Estos hornos son 4 con una longitud cada uno de 126 m con un diámetro de 4 - 3.5 m, con una inclinación de un 4% y una rotación de 80 rpm, los consumos de calor son aproximadamente de 2000 kcal/kg de clínquer para 280 kg de crudo/kg de clínquer, los hornos correspondientes al cemento gris son 3 hornos de nacionalidad checa con un rendimiento de 20.8 t/h en la actualidad tan solo se encuentran en operación el horno 1 y el 3 alternamente y el que se utiliza para el proceso blanco es japonés el cual tiene un rendimiento de 14 t/h, para todos los hornos se utiliza como combustible el crudo nacional.

Respecto al combustible, se puede decir que desde un principio se utilizó Bunquer C, pero a final de los años 80 se comenzó a utilizar el Petróleo Crudo Nacional con una adaptación previa de la tecnología. Para almacenar este combustible se dispone de 2 tanques de 2000 toneladas de capacidad, con sistema incorporado de calentamiento por vapor. Luego es trasladado hacia una estación precalentadora que eleva la temperatura hasta 120 - 130 °C, con capacidad de 5 000 L/h.

Las características de crudo que llega a la planta son las siguientes:

Tabla 2.3 Características del Combustible que se quema en el Horno de Clínquer. Fuente: (Elaboración Propia)

Datos del Combustible		
Valor Calórico Superior	9700	kcal/kg
Valor Calórico Inferior	9200	kcal/kg
Gravedad específica a 15 °C	0.98-0.99	t/m ³
Viscosidad a 50 °C	800-1100	CST
Carbono	78.84-82.29	%
Hidrógeno	10-11	%
Azufre	6.00-7.50	%
Nitrógeno	-	%
Oxígeno	-	%
Cenizas	0.035-0.095	%
Agua	1-2.8	%
Temperatura del combustible	150	°C
Densidad	0.98	g/cm ³
Entalpía del clínquer	9.1	kcal/kg de clínquer

Dentro de este horno el crudo sufre unos procesos físico-químicos los cuales son desde deshidratación de la pasta hasta la fusión de esta, procesos que transcurren en un rango de temperatura que está entre 50 y 2000°C

A medida que la temperatura sube la pasta se calienta y pasa por una serie de etapas donde ocurren cambios como: (Autores, 1998)

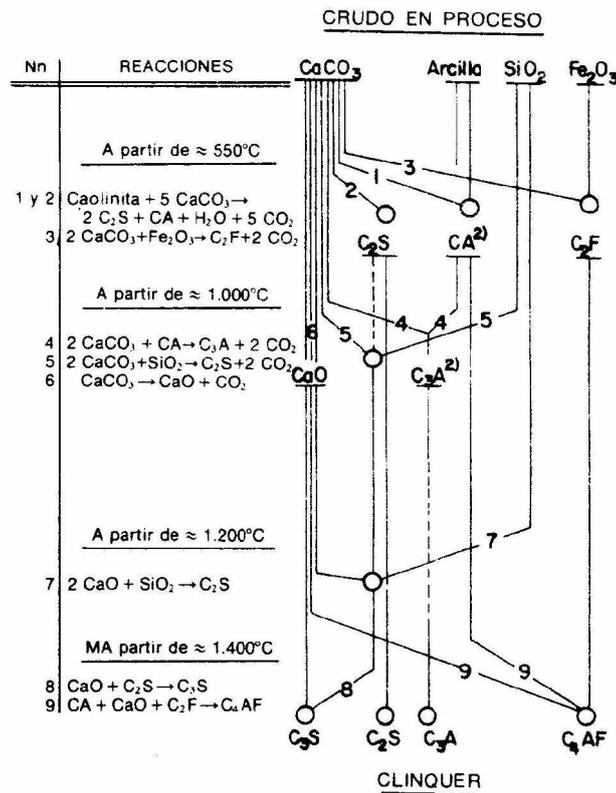


Fig 2.1 – Serie de relación de cocción del clínquer. Fuente: (Autores, 1982)

- 1- En la entrada del horno ocurre el secado de la pasta hasta una temperatura aproximada de 150°C .
- 2- Eliminación del agua de constitución de la arcilla hasta unos 500°C .
- 3- Luego la decarbonatación ocurre entre los 550°C y los 1100°C
- 4- Y finalmente la clínquerización desde los 1300 hasta aproximadamente los 1500°C .

Al final lo que se obtiene es la materia prima principal para el cemento, el clínquer. Dentro del horno circulan flujos de materiales y gases los cuales, por principios propios de la producción del cemento transitan en sentido contrario unos con respecto a otros. Por encima de los 1280°C se forma una fase líquida que favorece la reacción y facilita el desarrollo de la costra protectora del ladrillo refractario del horno. No obstante, un crecimiento desmesurado de la fase líquida implica una mayor resistencia del clínquer en su posterior molturación. Desde el punto de vista energético interesa que la temperatura de clínquerización sea lo más baja posible y que la reacción anterior se verifique en el mínimo tiempo.

En el caso de los tipos de llamas, en ambos tipos de cementos también son diversos, para el caso del cemento gris la llama es estrecha y larga y en el cemento blanco es lo contrario, la llama es ancha y corta. Todo está en la entrada del aire adicional de la combustión, este aire en el gris puede ser en exceso pero en el blanco se trata de evitar para así impedir la oxidación del clínquer.

Una vez elaborado el clínquer, es necesario proceder a un enfriamiento del mismo debido a que este sale del horno a una temperatura superior a los 1200°C . Anteriormente se pensaba que la forma de proceder para enfriar el clínquer debía ser rápida para conseguir una elevada resistencia del cemento, pero en enfriadores de satélite los cuales son de lento enfriamiento se demostró que no afectan en nada a la dureza del cemento, en dependencia del tipo de clínquer cambia la forma de enfriarse, como por ejemplo:

Clínquer gris: Una vez que salga el clínquer del horno, cae en un área de enfriamiento donde se le extrae el calor sobre unos enfriadores de parrilla, a los cuales se les hacen circular elevados volúmenes de aire frío desde abajo hacia arriba llegándole a bajar la temperatura al clínquer unos 1000°C , parte de este aire es succionado por el tiro del horno y el otro se pierde a la atmósfera. El clínquer una vez frío toma un color gris oscuro y son transportados por transportadores de canchales al almacén de materia prima.

Clínquer Blanco: Para este tipo de cemento se requiere de aportes térmicos mayores debido a que es necesario someter al clínquer a enfriamientos bruscos, el cual se hace normalmente con agua, para que conserve la tonalidad deseada y evitar una oxidación de este por exposición al aire, para esto se cuenta con un enfriador de dos etapas, con aspersión de agua en la primera etapa y por

inmersión en la segunda, esta última etapa termina de enfriar el clínquer de mayor diámetro para lo que cuenta con un clasificador incorporado. También se disponen de tres transportadores uno de ellos de placas metálicas a la salida del segundo enfriador, los restantes de banda de caucho de alta resistencia al calor a la entrada del tambor secador y el tercero para la transportación del clínquer de los silos hasta la tolva del molino de cemento, cada transportador tiene una capacidad de 20 t/h.

El tambor secador de clínquer es un dispositivo parecido al horno el cual es un secador rotativo a contra corriente que utiliza el vapor resultante del enfriamiento del clínquer, reduciendo la humedad del clínquer de un 8.0 % a un 0.5 % aproximadamente, una vez salido del tambor secador el clínquer es almacenado en 2 silos de 2000 t de capacidad cada uno. Cuando el clínquer se enfríe totalmente este toma una tonalidad verdosa. La caracterización del clínquer es:

Tabla 2.4 Características del Clínquer Blanco. Fuente: (Elaboración Propia)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	PPI	CaO
24.13	5.16	0.34	68.27	0.40	0.90	0.74	1.1

MS	MA	MH	FSC	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
4.39	15.13	2.30	0.87	51.97	30.00	13.11	1.04

Tabla 2.5 Características del Clínquer Gris. Fuente: (Elaboración Propia)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	PPI
21.63	5.04	4.57	63.19	1.33	0.78	0.6

MS	MA	MH	FSC	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
2.25	1.1	2.02	0.87	46.76	27.51	5.62	13.89.

Una vez enfriado el clínquer, este se envía a los silos donde se extrae para mezclarlo con otros aditivos en la calidad y proporciones adecuadas al cemento que se va a fabricar, en el caso del cemento blanco se agrega caliza, yeso y clínquer, y para el gris se le adiciona yeso, clínquer y zeolita si se requiere bajar la calidad del producto. Posteriormente son trasladados por medio de tres alimentadores de banda a los molinos.

La mezcla dosificada de componentes es molida hasta la granulometría necesaria. Usualmente, no son requeridos en esta fase del proceso aportes de energía térmica ya que el propio calor residual del clínquer y el desarrollo por fricción son suficientes para eliminar la humedad de las adiciones.

Esta área de los molinos de cemento cuenta con una línea de doble etapa con circuito cerrado, separador centrífugo y dos molinos de bolas para cada etapa, uno primario y otro terminal.

Para almacenar el cemento se cuenta con 5 silos, 2 de 15000 toneladas los cuales son para cemento gris y 3 de 5000 toneladas donde uno es para gris y el restante para el cemento blanco. El modo de entrega puede ser a granel o en bolsas, tanto para transportarse por vía férrea o por carretera, para las cuales se cuentan con 3 empacadoras de bolsas de hasta 50 kg de un rendimiento de 1200 - 1300 bolsas/h, de estas empacadoras dos son para cemento gris y una para el cemento blanco.

2.3 Análisis Energético Actual del Proceso a Estudiar

Para llegar a proponer algunas alternativas acerca de la eficiencia energética en el área de hornos, con respecto a la recuperación de calor en esta parte de la producción, se debe ver en que condiciones se está trabajando actualmente. También se considera que la fábrica cuenta con una tecnología antigua por lo que los sistemas no funcionan en su total capacidad. A continuación se llevará a cabo un análisis acerca de como está el funcionamiento de los parámetros de producción del área de hornos, con el propósito de ver en que partes se está desperdiciando la mayor cantidad de calor.

2.3.1 Balance de material

Con respecto a la degradación del medio ambiente y a los procesos que ocurren dentro del horno se realizará a continuación un balance de masa teniendo en cuenta los elementos que entran al horno y los productos que salen luego de la obtención del clínquer.

De acuerdo al concepto el balance de material es un método matemático utilizado principalmente en ingeniería química, el cual se basa en la ley de conservación de la materia, que establece que la masa de un sistema cerrado permanece siempre constante, donde la masa que entra en el sistema debe salir del sistema o acumularse dentro de él.

Teniendo en cuenta lo anterior y tomando como referencia la metodología planteada en bibliografías especializadas (Duda, 1977), para el balance como datos de entrada se tiene que:

Datos de entrada para el balance:

$p = 16,10\% \Rightarrow$ Por ciento de pérdidas de polvo en la producción de clínquer

$PPlc = 34,75\% \Rightarrow$ Por ciento de pérdida del crudo al fuego

$PPlk = 1\% \Rightarrow$ Por ciento de pérdida de clínquer

$W = 36\% \Rightarrow$ Por ciento de agua de la pasta

$t = 30^\circ C \Rightarrow$ Temperatura del aire atmosférico

$\beta = 90\% \Rightarrow$ Humedad relativa del aire

$C = 27,18 \frac{g}{m^3}$ de aire \Rightarrow Con t y β se busca en la carta psicométrica y se halla el contenido de humedad del aire

$Ps = 1,517 \frac{kg}{kg}$ de clínquer \Rightarrow Pasta seca

$CO_2 = 34,69\% \Rightarrow$ Por ciento en la materia prima

$Pv = 0,0433 \frac{kg}{cm^2}$ \Rightarrow Presión del vapor saturado del aire a la temperatura atmosférica

$Ps' = 1,808 \frac{kg}{kg}$ de clínquer \Rightarrow Pasta seca más polvo perdido

$Wa = 0,330 \frac{kg}{kg}$ de clínquer \Rightarrow Humedad del aire

2.3.1.1 Materiales que Entran al horno:

En la entrada al horno se cuenta con una serie de componentes para los cuales se tiene que:

1-Combustible

$X = 0,17 \frac{kg}{kg}$ de clínquer

2-Pasta

$$P = P_{s'} * 100 / (100 - W)$$

$$P = 1.808 * 100 / (100 - 36)$$

$$P = 2,83 \text{ kg} / \text{kg de.clínquer}$$

$$P_{s'} = \frac{100 * (100 - PPlk) / (100 - PPlc)}{100 * p}$$

$$P_{s'} = \frac{100 * (100 - 1) / (100 - 34,75)}{100 - 16,10}$$

$$P_{s'} = 1,808 \text{ kg} / \text{kg de.clínquer}$$

3-Aire real empleado

$$Ar = Ar * X$$

$$Ar = 15,697 * 0,17$$

$$Ar = 2,7 \text{ kg} / \text{kg de.clínquer}$$

$$Ar = Am * \alpha$$

$$Ar = 13,650 * 1,15$$

$$Ar = 15,697 \text{ kg.de.aire}$$

$$Am = O_2m / 0,231$$

$$Am = 3,153 / 0,231$$

$$Am = 13,65 \text{ kg.de.aire}$$

Ar ⇒ Aire real para la combustión de 1 kg de combustible.

O₂m ⇒ Oxígeno mínimo necesario para 1 kg de combustible.

0,231 ⇒ Contenido de oxígeno en peso del aire 23,1%.

α ⇒ Coeficiente de exceso de aire.

Am ⇒ Aire mínimo necesario.

4-Humedad del aire

$$Wa = Wa * X$$

$$Wa = 0,330 * 0,17$$

$$Wa = 0,06 \text{ kg} / \text{kg de.clínquer}$$

$$Wa = \frac{C / 100 * Ar}{1,293}$$

$$Wa = \frac{27,18 / 100 * 15,697}{1,293}$$

$$Wa = 0,33 \text{ kg} / \text{kg de.clínquer}$$

Total de material que entra al horno = 5,7491 kg / kg de.clínquer

2.3.1.2 Materiales que Salen del horno:

En la salida del horno se tienen los siguientes elementos:

1-Salida de clínquer

$$k = 1 \text{ kg} / \text{kg de clínquer}$$

2- CO₂ de la materia prima

$$CO_2 = P_{S'} * CO_2 / 100$$

$$CO_2 = 1,808 * 34,69 / 100$$

$$CO_2 = 0,63 \text{ kg} / \text{kg de clínquer}$$

$$CO_2 = \frac{44,01 * CaO\%}{56,08} + \frac{44,01 * MgO\%}{40,32}$$

$$CO_2 = \frac{44,01 * 43,13}{56,08} + \frac{44,01 * 0,77}{40,32}$$

$$CO_2 = 34,69\%$$

3-Humedad de la pasta

$$W = P - P_{S'}$$

$$W = 2,83 - 1,808$$

$$W = 1,02 \text{ kg} / \text{kg de clínquer}$$

4-Agua de composición

$$W_m = \frac{(P_{Plc} - CO_2\%) * P_{S'}}{100}$$

$$W_m = \frac{(34,75 - 34,69) * 1,808}{100}$$

$$W_m = 0,001 \text{ kg} / \text{kg de clínquer}$$

5-Gases de combustión

$$G = G_c * X$$

$$G = 17,065 * 0,17$$

$$G = 2,93 \text{ kg} / \text{kg de clínquer}$$

$$G_c = H_2O_{(aire)}\% + CO_2\% + N_2\% + O_2 + SO_2 + H_2O_{(combustible)}$$

$$G_c = 0,330 + 3,015 + 12,071 + 0,473 + 0,150 + 1,025$$

$$G_c = 17,065 \text{ kg de gases} / \text{kg de combustible}$$

Gc ⇒ Cantidad de gases producidos por la combustión

6-Pérdida de polvo

$$P = \frac{P}{100}$$

$$P = \frac{16,10}{100}$$

$$P = 0,161 \frac{kg}{kg} \text{ de clínquer}$$

$$\text{Total de material que sale del horno} = 5,7366 \frac{kg}{kg} \text{ de clínquer}$$

2.3.2 Balance térmico

En esta área de hornos la pérdida de calor es muy significativa por lo que se realiza un balance térmico de acuerdo con las fuentes de calor que están presente en todo el proceso de obtención del clínquer.

El balance térmico es un conjunto de cálculos que permiten determinar las características del sistema con el que se trabaja, en esta investigación se hizo necesario desarrollar este balance con el objetivo de conocer los lugares de mayor pérdida de calor, para su posterior recuperación.

De igual forma para el balance térmico se toma como referencia a las múltiples bibliografías que hablan del tema.(ASLAND, 1987)

Se tiene para el balance como datos de entrada que:

Datos de entrada para el balance:

$$t_p = 30^{\circ} C \Rightarrow \text{Temperatura de la pasta}$$

$$h = 587,313 \frac{kcal}{kg} \Rightarrow \text{Calor de vaporización del agua que contiene la pasta a } 30^{\circ} C$$

2.3.2.1 Calor que entra al horno:

Se tiene que el calor que entra al horno está dado por:

1-Poder calórico del combustible

$$Q_1 = V_{ci} * X$$

$$Q_1 = 9200 * 0,17$$

$$Q_1 = 1579,6 \frac{Kcal}{kg} \text{ de clínquer}$$

Donde: V_{ci} es el valor calórico inferior del combustible

X es el índice de consumo técnico

2-Entalpía del combustible

$$Q2 = X * tc * Cp_{comb}$$

$$Q2 = 0,17 * 127 * 0,518$$

$$Q2 = 11,29 \text{ kcal/kg de clínquer}$$

$$Cp_{comb} = \frac{0,415}{\sqrt{Ge}} + 0,0009 * (tc - 15)$$

$$Cp_{comb} = \frac{0,415}{\sqrt{0,99}} + 0,0009 * (127 - 15)$$

$$Cp_{comb} = 0,518 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

Donde: tc es la temperatura del combustible

Cp_{comb} es el calor específico del combustible a 127°C

Ge es la gravedad específica a 15°C

3-Entalpía de la pasta

$$Q3 = (Ps * 0,253 + W) * tp$$

$$Q3 = (1,808 * 0,253 + 1,02) * 30$$

$$Q3 = 44,24 \text{ kcal/kg de clínquer}$$

4-Entalpía del aire de combustión

$$Q4 = ((Ar * Cp_{aire} * t_{am}) + (Wa * t_{am} * Cp_{H_2O})) * X$$

$$Q4 = ((15,697 * 0,238 * 30) + (0,330 * 30 * 0,452)) * 0,17$$

$$Q4 = 20,03 \text{ kcal/kg de clínquer}$$

Donde: Cp_{aire} es el calor específico del aire de combustión

Cp_{H_2O} es el calor específico del H_2O

2.3.2.2 Calor que sale del horno:

Se tiene que el calor que sale del horno está dado por:

5-Calor de formación del clínquer

$$Q5 = 1648 * Wa + 310 * Ce_{T1} + 50 + 425 * Ce_{T2} - 1,57 * Al_2O_3 - (1,26 * C_3S + 1,71 * C_2S + 0,146 * C_3A + 0,26 * C_4AF) - 25$$

$$Q5 = 1648 * 0,001 + 310 * 0,035 + 50 + 425 * 1,391 - 1,57 * 3,56 - (1,26 * 74,35 + 1,71 * 3,21 + 0,146 * 8,36 + 0,26 * 11,37) - 25$$

$$Q5 = 519,72 \text{ kcal/kg de clínquer}$$

$$Ce_{T1} = Ps \cdot \left(\frac{MgO_{pasta}}{40,31} \right)$$

$$Ce_{T2} = Ps \cdot \left(\frac{CaO_{pasta}}{56,08} \right)$$

$$Ce_{T1} = 1,808 \cdot \left(\frac{0,77}{40,31} \right)$$

$$Ce_{T2} = 1,808 \cdot \left(\frac{43,13}{56,08} \right)$$

$$Ce_{T1} = 0,035 \text{ kg.de.MgCO}_3/\text{kg.de.clínquer}$$

$$Ce_{T2} = 1,391 \text{ kg.de.CaCO}_3/\text{kg.de.clínquer}$$

Donde: Ce_{T1} y Ce_{T2} son coeficientes de eficiencia térmica

Al_2O_3 es el % de este componente en la pasta

C_3S , C_2S , C_3A y C_4AF son % de composición potencial

6-Calor de evaporación del agua de la pasta

$$Q6 = h \cdot W$$

$$Q6 = 587,313 \cdot 1,02$$

$$Q6 = 597,43 \text{ kcal/kg de.clínquer}$$

7-Entalpía de los gases de escape del horno

$$Q7 = (X(\%CO_2 \cdot CpCo_2 + \%N_2 \cdot CpN_2 + \%O_2 \cdot CpO_2 + \%SO_2 \cdot CpSO_2 + \%H_2O \cdot CpH_2O) + CO_2 \cdot CpCO_2 + Wm \cdot CpH_2O) \cdot tgs \cdot X$$

$$Q7 = (0,17(3,015 \cdot 0,216 + 12,071 \cdot 0,249 + 0,473 \cdot 0,224 + 0,150 \cdot 0,157 + 1,025 \cdot 0,452) + 0,63 \cdot 0,216 + 0,001 \cdot 0,452) \cdot 200 \cdot 0,17$$

$$Q7 = 29,69 \text{ kcal/kg de.clínquer}$$

Donde: $\%CO_2$ es el % por el carbono del combustible

$\%N_2$ es el % por el nitrógeno del aire más del combustible

$\%O_2$ es el % por el oxígeno del aire más del combustible

$\%SO_2$ es el % por el azufre del combustible

$\%H_2O$ es el % por hidrógeno del agua

CO_2 es el de la materia prima

tgs es la temperatura de los gases de salida

8-Entalpía del aire de salida del horno

$$Q8 = Ase \cdot 1,293 \cdot (273 + tgee) \cdot \left(\frac{CpAe}{Pc} \right)$$

$$Q8 = 20000 \cdot 1,293 \cdot (273 + 700) \cdot \left(\frac{0,266}{12000} \right)$$

$$Q8 = 558,04 \text{ kcal/kg de.clínquer}$$

Donde: A_{se} es el aire de salida del enfriador a la atmósfera P_c es la producción de clínquer
 t_{gee} es la temperatura de los gases de entrada al enfriador
 C_{pAe} es el calor específico del aire de entrada al enfriador

9-Entalpía del clínquer

$$Q_9 = (t_{cs} + 273) * C_{pc}$$

Donde: t_{cs} es la temperatura del clínquer de salida

$$Q_9 = (1200 + 273) * 0,193$$

C_{pc} es el calor específico del horno

$$Q_9 = 284,49 \text{ kcal/kg de clínquer}$$

10-Entalpía del polvo perdido

$$Q_{10} = \frac{P}{100} * 0,253 * t_{gs}$$

$$Q_{10} = \frac{16,10}{100} * 0,253 * 200$$

$$Q_{10} = 8,15 \text{ kcal/kg de clínquer}$$

11-Pérdidas por radiación y convección

$$Q_{11} = \sum \text{Pérdidas.de.calor.por.zona}$$

$$Q_{11} = 35,87 + 154,46 + 79,99 + 99,69 + 255,83 + 46,49$$

$$Q_{11} = 672,33 \text{ kcal/kg de clínquer}$$

Zona de enfriamiento

$$P_1 = \frac{X_1}{P_c}$$

$$P_1 = \frac{430443,20}{12000}$$

$$P_1 = 35,87 \text{ kcal/kg de clínquer}$$

$$X_1 = (t_1 - t_{am}) * S_1 * F_{rc1}$$

$$X_1 = (400 - 30) * 44 * 26,44$$

$$X_1 = 430443,20 \text{ Kcal/h}$$

$$F_{rc1} = 3,5 + 0,062 * (t_1 - t_{am})$$

$$F_{rc1} = 3,5 + 0,062 * (400 - 30)$$

$$F_{rc1} = 26,44 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^0 \text{ c}$$

Donde: X_1 es la pérdida de calor por hora en la zona
 S_1 es la superficie de la zona
 F_{rc1} es el factor de radiación y convección por zona

Zona de clínquerización

$$\begin{aligned}
 P_2 &= X_2 / P_c & X_2 &= (t_2 - t_{am}) * S_2 * F_{rc2} & F_{rc2} &= 3,5 + 0,062 * (t_2 - t_{am}) \\
 P_2 &= 1853537,46 / 12000 & X_2 &= (415 - 30) * 175,90 * 27,37 & F_{rc2} &= 3,5 + 0,062 * (415 - 30) \\
 P_2 &= 154,46 \text{ kcal/kg de clínquer} & X_2 &= 1853537,46 \text{ kcal/h} & F_{rc2} &= 27,37 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^0 \text{ c}
 \end{aligned}$$

Zona de transición

$$\begin{aligned}
 P_3 &= X_3 / P_c & X_3 &= (t_3 - t_{am}) * S_3 * F_{rc3} & F_{rc3} &= 3,5 + 0,062 * (t_3 - t_{am}) \\
 P_3 &= 959909,28 / 12000 & X_3 &= (378 - 30) * 110 * 25,076 & F_{rc3} &= 3,5 + 0,062 * (378 - 30) \\
 P_3 &= 79,99 \text{ kcal/kg de clínquer} & X_3 &= 959909,28 \text{ kcal/h} & F_{rc3} &= 25,076 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^0 \text{ c}
 \end{aligned}$$

Zona de calcinación

$$\begin{aligned}
 P_4 &= X_4 / P_c & X_4 &= (t_4 - t_{am}) * S_4 * F_{rc4} & F_{rc4} &= 3,5 + 0,062 * (t_4 - t_{am}) \\
 P_4 &= 1196258,81 / 12000 & X_4 &= (345 - 30) * 164 * 23,03 & F_{rc4} &= 3,5 + 0,062 * (345 - 30) \\
 P_4 &= 99,69 \text{ kcal/kg de clínquer} & X_4 &= 1196258,81 \text{ kcal/h} & F_{rc4} &= 23,03 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^0 \text{ c}
 \end{aligned}$$

Zona de calentamiento

$$\begin{aligned}
 P_5 &= X_5 / P_c & X_5 &= (t_5 - t_{am}) * S_5 * F_{rc5} & F_{rc5} &= 3,5 + 0,062 * (t_5 - t_{am}) \\
 P_5 &= 3070007,51 / 12000 & X_5 &= (296 - 30) * 577,30 * 19,992 & F_{rc5} &= 3,5 + 0,062 * (296 - 30) \\
 P_5 &= 255,83 \text{ kcal/kg de clínquer} & X_5 &= 3070007,51 \text{ kcal/h} & F_{rc5} &= 19,992 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^0 \text{ c}
 \end{aligned}$$

Zona de secado

$$\begin{aligned}
 P_6 &= X_6 / P_c & X_6 &= (t_6 - t_{am}) * S_6 * F_{rc6} & F_{rc6} &= 3,5 + 0,062 * (t_6 - t_{am}) \\
 P_6 &= 557838,16 / 12000 & X_6 &= (154 - 30) * 402,10 * 11,188 & F_{rc6} &= 3,5 + 0,062 * (154 - 30) \\
 P_6 &= 46,49 \text{ kcal/kg de clínquer} & X_6 &= 557838,16 \text{ kcal/h} & F_{rc6} &= 11,188 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^0 \text{ c}
 \end{aligned}$$

2.3.3 Análisis de exergía:

Para concretar el análisis del área de hornos debemos saber que cantidad de calor se pierde para aprovecharlo, por lo que es necesario un análisis exergético. La exergía es una magnitud termodinámica que indica el máximo trabajo teórico que se puede alcanzar por la interacción

espontánea entre un sistema y su entorno. Definida de otra forma la exergía es la porción de la energía que puede ser transformada en trabajo mecánico.

Existen disímiles formas de calcular la exergía, e incluso existen los balances exergético, de la misma forma que existen los de materiales y los energéticos o térmicos, pero en este caso en particular se desea cuantificar la cantidad de exergía que se pierde en calor, para este tipo de análisis exergético alguna bibliografía se plantea una fórmula que es la que se presenta a continuación. (Rivero, 1994)

1-Exergía de los gases de escape del horno

$$E_{ge} = Q_7 * (1 - \frac{t_{am}}{t_{gs}})$$

Donde: t_{gs} es la temperatura de los gases de salida

$$E_{ge} = 29,69 * (1 - \frac{30}{200})$$

$$E_{ge} = 25,24 kWh/kg \text{ de clínquer}$$

2-Exergía del aire a la salida del horno

$$E_{as} = Q_8 * (1 - \frac{t_{am}}{t_{vse}})$$

Donde: t_{vse} es la temperatura del vapor a la salida del enfriador.

$$E_{as} = 401,47 * (1 - \frac{30}{150})$$

$$E_{as} = 321,18 kWh/kg \text{ de clínquer}$$

3-Exergía del clínquer

$$E_c = Q_9 * (1 - \frac{t_{am}}{Cet_2})$$

Donde: Cet_2 es el coeficiente de eficiencia térmica en $CaCO_3$

$$E_c = 231,77 * (1 - \frac{30}{1,391})$$

$$E_c = 225,97 kWh/kg \text{ de clínquer}$$

4-Exergía del polvo perdido

$$E_{pp} = Q_{10} * (1 - \frac{t_{am}}{t_{gs}})$$

$$E_{pp} = 8,15 * (1 - \frac{30}{200})$$

$$E_{pp} = 6,92 kWh/kg \text{ de clínquer}$$

5-Exergía por radiación y convección

$$E_{rc} = \sum \text{Pérdidas por zona}$$

$$E_{rc} = 0,04 + 0,17 + 0,09 + 0,11 + 0,27 + 0,04$$

$$E_{rc} = 0,71 \text{ kWh/kg de clínquer}$$

Zona de enfriamiento

$$E_1 = N_1 * 0,00116263888888889 \quad N_1 = P_1 * (1 - \frac{t_{am}}{t_1})$$

$$E_1 = 33,18 * 0,00116263888888889 \quad N_1 = 35,87 * (1 - \frac{30}{400})$$

$$E_1 = 0,04 \text{ kWh/kg de clínquer} \quad N_1 = 33,18 \text{ kcal/kg de clínquer}$$

Donde: N_1 es la pérdida por zona de radiación y convección

P_1 es la pérdida térmica por zona

Zona de clínquerización

$$E_2 = N_2 * 0,00116263888888889 \quad N_2 = P_2 * (1 - \frac{t_{am}}{t_2})$$

$$E_2 = 143,30 * 0,00116263888888889 \quad N_2 = 154,46 * (1 - \frac{30}{415})$$

$$E_2 = 0,17 \text{ kWh/kg de clínquer} \quad N_2 = 143,30 \text{ kcal/kg de clínquer}$$

Zona de transición

$$E_3 = N_3 * 0,00116263888888889 \quad N_3 = P_3 * (1 - \frac{t_{am}}{t_3})$$

$$E_3 = 73,64 * 0,00116263888888889 \quad N_3 = 79,99 * (1 - \frac{30}{378})$$

$$E_3 = 0,09 \text{ kWh/kg de clínquer} \quad N_3 = 73,64 \text{ kcal/kg de clínquer}$$

Zona de calcinación

$$E_4 = N_4 * 0,00116263888888889 \quad N_4 = P_4 * (1 - \frac{t_{am}}{t_4})$$

$$E_4 = 91,02 * 0,00116263888888889 \quad N_4 = 99,69 * (1 - \frac{30}{345})$$

$$E_4 = 0,11 \text{ kWh/kg de clínquer} \quad N_4 = 91,02 \text{ kcal/kg de clínquer}$$

Zona de calentamiento

$$E_5 = N_5 * 0,001162638888888889 \quad N_5 = P_5 * (1 - \frac{t_{am}}{t_5})$$

$$E_5 = 229,90 * 0,001162638888888889 \quad N_5 = 255,83 * (1 - \frac{30}{296})$$

$$E_5 = 0,27 \text{ kWh/kg de.clínquer} \quad N_5 = 229,90 \text{ kcal/kg de.clínquer}$$

Zona de secado

$$E_6 = N_6 * 0,001162638888888889 \quad N_6 = P_6 * (1 - \frac{t_{am}}{t_6})$$

$$E_6 = 37,43 * 0,001162638888888889 \quad N_6 = 46,49 * (1 - \frac{30}{154})$$

$$E_6 = 0,04 \text{ kWh/kg de.clínquer} \quad N_6 = 37,43 \text{ kcal/kg de.clínquer}$$

2.4 Conclusiones parciales del capítulo 2

- 1 Luego de un estudio acerca de la producción de cemento por vía húmeda se tiene que por esta vía se consume más energía térmica que por la vía de producción seca, además de que en todo el proceso de producción se consume gran cantidad de combustible y de energía eléctrica, por lo que es de vital importancia mantener una eficiencia energética en todo el proceso.
- 2 En los cálculos de balance y análisis para el proceso de obtención del clínquer, se hallaron las zonas del horno que presentan mayor pérdida de calor, en las cuales se pueden instalar sistemas que recuperen este calor para integrarlo al proceso de producción, contribuyendo así a la disminución del costo de producción del cemento.

Capítulo 3: Estudio de las alternativas energéticas para el área de hornos.

3.1 - Introducción

El área de hornos, dadas las explicaciones y cálculos en anteriores capítulos, es donde mayor consumo energía térmica hay en la producción de cemento. Teniendo en cuenta los resultados de los análisis que se realizaron en el capítulo 2 se puede observar la gran cantidad de calor que se pierde en determinados lugares y que no se aprovechan. Debido a lo anterior se ha hecho un estudio con respecto a varias alternativas que se pueden aplicar en el área de hornos para mejorar la eficiencia energética en la producción, con el objetivo de aprovechar el calor perdido e integrarlo al proceso de producción.

En la zona de los hornos rotatorios se puede recuperar calor en tres partes del proceso de obtención del clínquer, primeramente en la chimenea por donde salen los gases de escape los cuales tienen una temperatura de hasta 200°C , en las paredes del horno que dependiendo de las zonas del horno se tienen por radiación y convección desde 100°C hasta 450°C , también en los enfriadores de clínquer que mediante el tiro de aire después de los ciclones se obtienen temperaturas de hasta 250°C .

En otras industrias del mundo se han realizados disímiles estudios y proyectos para recuperar el calor perdido en los hornos de las industrias cementeras sin importar el tipo de proceso.

Una información dada por el WADE “World Alliance for Decentralized Energy” (Bell, 2007), plantea que en el 2006 en un listado de 18 países, los cuales presentan un buen desarrollo en la industria cementera, entregaron un potencial energético de un total de 57 TWh/año, y todo esto en recuperación de calores residuales, en tan solo 174 plantas que tenían implementado estas tecnologías.

Como se puede observar la recuperación de calor de las fábricas de cemento, en los hornos es viable y posible mediante los desarrollos tecnológicos de hoy en día.

A continuación se explicarán en que consisten algunas de las formas de recuperación del calor perdido en los hornos de clínquer de la industria cementera.

3.2 - Recuperación de calor en la chimenea por los gases de escape.

Mediante los gases de escape se obtiene calor para calentar la pasta que entra al horno, haciendo pasar el canal por donde se transporta la pasta por dentro de los conductos de los gases de salida de la chimenea, aumentando con esto la utilización de los calores residuales para quitarle una parte de la humedad a la pasta y así evitar un alto consumo de calorías en evaporar el agua de la pasta. Con respecto a la disminución de la humedad de la pasta se tiene que el área del conducto de salida de los gases en la chimenea es mucho mayor que el área que representa la tubería que está instalada para la circulación de la pasta. En este caso la tubería de la pasta podría ponerse de forma entrelazada dentro de la chimenea con el objetivo de que ocupe una mayor área posibilitando una elevada transferencia entre los gases y la pasta, lo que tendría como inconveniente que la pasta perdiera demasiada humedad por estar mucho más tiempo en contacto con el calor de los gases y su fluidez disminuiría provocando que se obstruyera el conducto hacia el horno.

En la figura 3.1a y 3.1b se puede observar la tubería por donde pasa la pasta a través de la chimenea.



Figura A.



Figura B.

Fig. 3.1– Imagen de la entrada de pasta (tubo pequeño) por dentro de la salida de los gases de la chimenea (área total de la imagen) hacia el horno (orificio grande). Fuente: Imágenes propias

También se podrían instalar otros intercambiadores de calor para generar vapor de agua o calentar el aire de combustión para el quemador. Con respecto a estos sistemas tenemos algunos inconvenientes ya que en el quemador del horno se trabaja con crudo nacional que tiene entre un 6 y un 7% de azufre el cual luego de la combustión genera SO_x que junto con el polvo y otros productos es transportado por el tiro de aire hasta la chimenea donde estaría el intercambiador. Este SO_x luego de condensarse se convierte en ácido sulfúrico el cual es altamente corrosivo provocando la destrucción en poco tiempo el intercambiador.

Además de este problema también tenemos que la cantidad de polvo que sale por la chimenea es elevada la cual se incrustaría en el intercambiador creando un aislante térmico por lo que no sería conveniente instalar un sistema de este tipo en esta área del horno. Este inconveniente también se presentaría para el caso de la idea de mantener por mucho más tiempo el conducto de pasta, el cual con esta complicación provocaría que en poco tiempo esas cantidades de polvo ocasionaran una obstrucción de los gases de escape hacia la chimenea y los daños serían considerables.

Para este problema existe una solución. En el mundo cementero las grandes industrias presentan entre el horno y la chimenea un filtro de grandes magnitudes el cual sería una solución a este problema. Se podría instalar un sistema de filtro para eliminar estos productos no deseados, estos filtros contiene filtros de graba, filtros de manga, ciclones, electrofiltros, etc., pero esto también disminuiría la temperatura de los gases y su flujo, por lo que no sería conveniente tampoco la colocación de estos filtros pues al presentar poca temperatura no sería útil el calor que pueda brindar estos gases, y también al disminuir el flujo se necesitaría un ventilador de tiro forzado más potente que contrarreste las pérdidas en el caudal de los gases de escape y que permita que estos salgan sin ningún inconveniente, lo cual representaría un consumo mayor de electricidad. Ver figura 3.2

Estos filtros llegan a tener decenas de metros de altura pues estos sistemas en muchos casos se posicionan de manera que se le conecten todos los hornos para que puedan procesar todos los gases y polución que estos puedan emitir a la atmosfera, por otra parte lo hornos son de gran magnitud, y este sistema debe filtrar todo los gases de hornos que producen varias docenas de toneladas por hora.

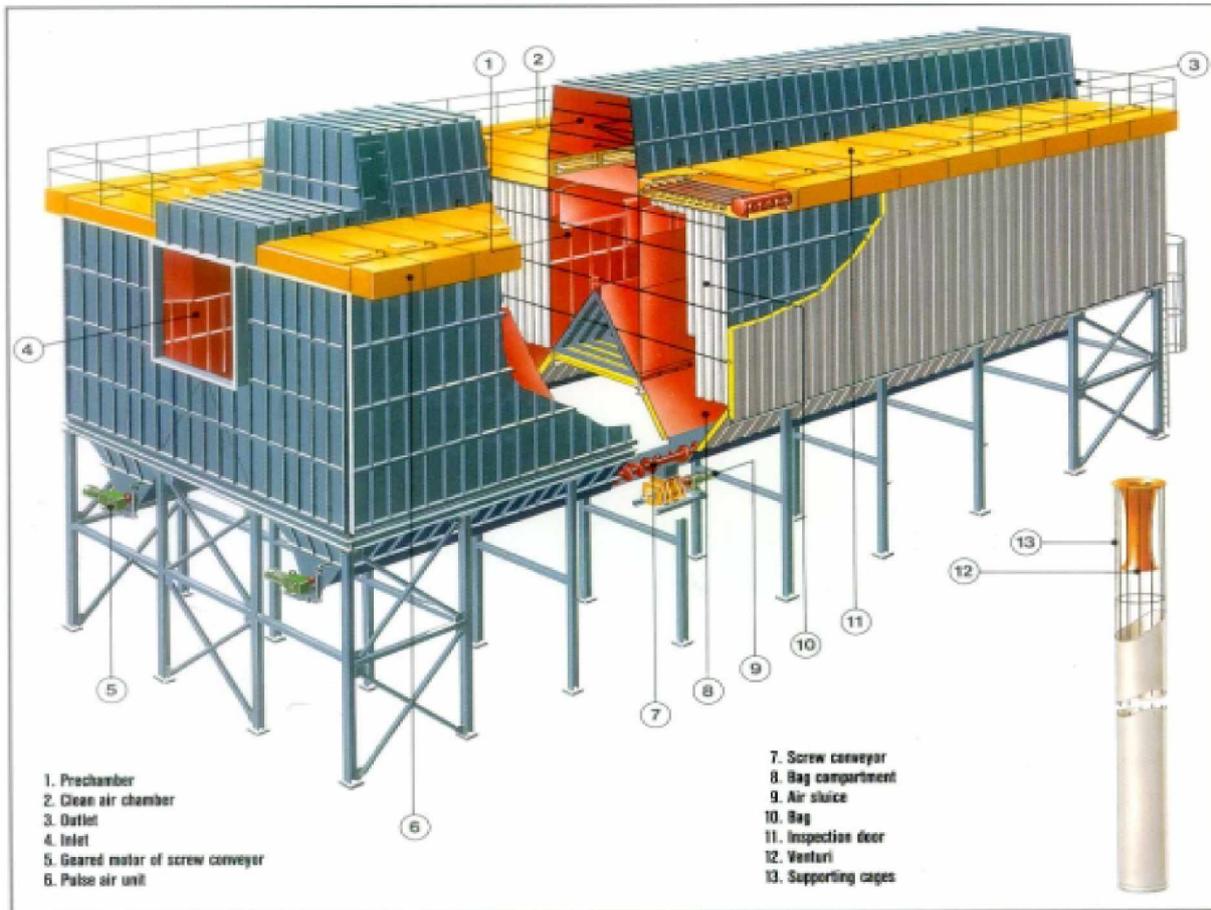


Fig. 3.2–Imagen de un filtro de gran escala a la salida de los hornos. Fuente:(SERELAND, 1987)

Estos tipos de filtros son mayormente usados en las industria cementeras de procesos secos, pues antes de ellos, existe un conjunto de ciclones donde se deja caer la pasta o el material sin cocinar y a contracorriente se le suministran los calores residuales del horno los cuales son de unos 500 o 600 °C pues a diferencia del proceso húmedo, el proceso seco no presenta zona de transferencia o cadenas pues ya la pasta llega al horno con un muy bajo por ciento de humedad, de unos 1 – 2%, por lo que las temperaturas son mayores, y luego que estos gases salgan de estos ciclones la temperatura es algo baja como para poder ser útil en algún tipo de recuperación, pero el porcentaje de polvo es muy alto, porque como ya el tipo de proceso lo dice, es seco y el grado de polución es mucho más alto, por lo que es viable un filtro para recuperar ese polvo.

También la chimenea del horno está muy alejada del proceso industrial donde podría ser útil el calor residual, pero lo que sería muy costoso trasladar el vapor de agua a uno poco más de 125 metros para su posterior utilidad.

3.3 - Recuperación de calor mediante el aire que sale de los enfriadores de clínquer.

Los enfriadores de clínquer están ubicados justo debajo del horno en la caída de clínquer, los cuales consisten en un sistema de transportador de unos 20 metros que tienen debajo unos ventiladores de tiro inducido que enfrían el clínquer con el aire ambiental. El clínquer que sale del horno tiene una temperatura aproximada de 1000°C y el aire que pasa por él sale por un conducto a través de ciclones y es enviado a la atmósfera. Este aire de enfriamiento al pasar por entre el clínquer levantan grandes cantidades de polución, la cual está constituida por partículas abrasivas de sílice, alúmina, entre otros, estas partículas al circular por los ciclones pierden velocidad y precipitan de nuevo a la zona de enfriamiento incorporándose al clínquer el cual posteriormente pasará a ser la materia prima fundamental para el cemento.

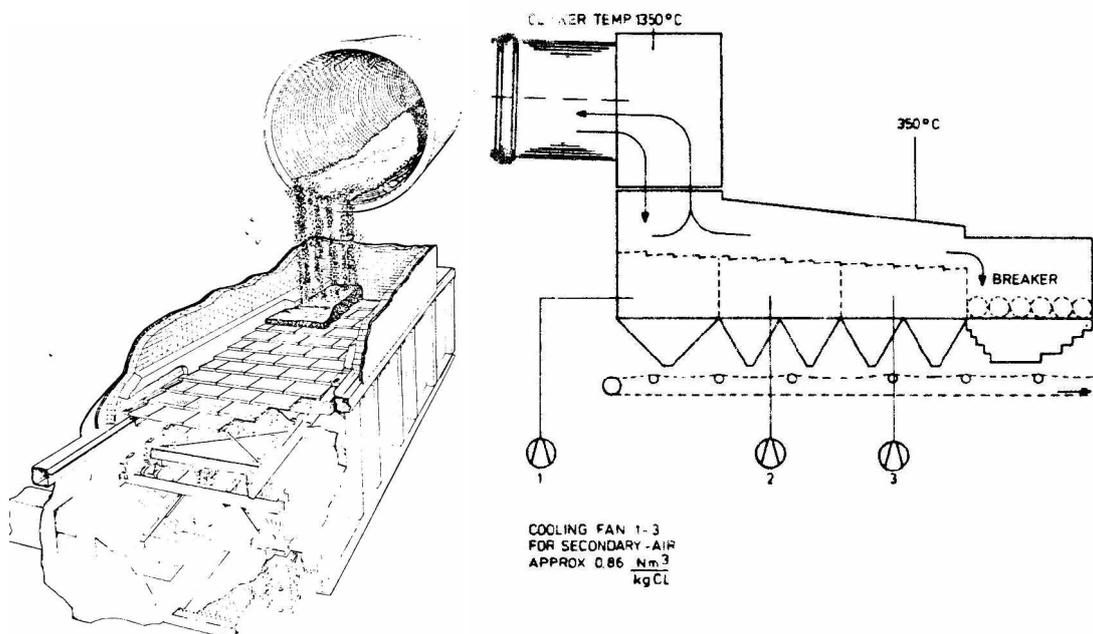


Fig. 3.3– Imágenes de lo que es un enfriador de clínquer. Fuente: (SERELAND, 1987)

En dicho conducto para este trabajo se hizo un estudio de prueba que consistió en colocar un tubo de garban de 1 pulgada de diámetro con un espesor de 4,25mm durante 30 días que estuvo trabajando el horno para saber el por ciento de corrosión y/o desgaste que presentaría el tubo debido a la exposición directa con una gran cantidad de contenido de sílice y polvo de clínquer que tienen estos gases.

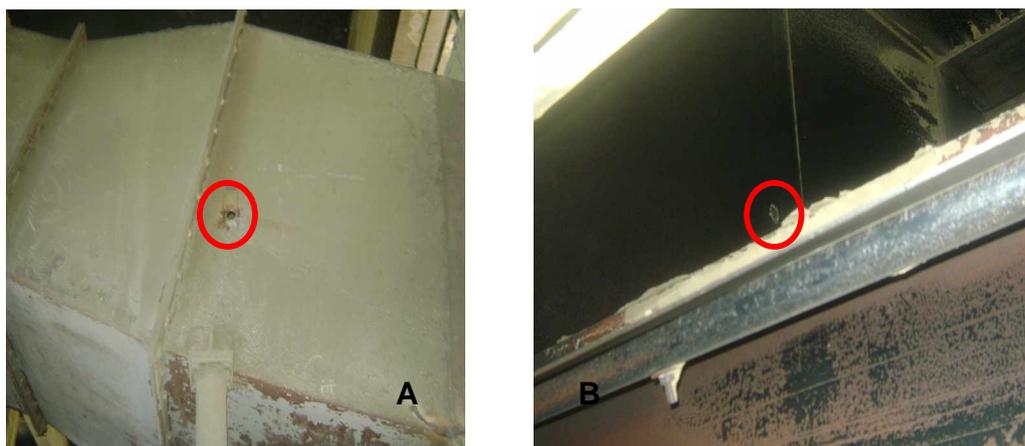


Fig. 3.4— Imágenes del experimento del tubo dentro de los conductos posteriores a los ciclones del enfriador de clínquer. A: exterior. B: interior. Fuente: Imágenes propias

Durante este período el tubo se desgastó 0,05mm y no presento ningún tipo de corrosión, por otra parte no presentó tampoco incrustaciones de partículas de polvo los cuales pasado un tiempo podrían crear una capa de polvo que funcionaría como aislante térmico, por lo que es rentable poner un sistema de tuberías para obtener vapor de agua o también se podría pasar el combustible que se quema en el horno para precalentarlo y disminuir la explotación de la caldera.

En la figura 3.4 A y B se muestra una vista exterior e interior respectivamente del conducto de salida de los gases provenientes del enfriador en el cual se puso a prueba el tubo de garban. Marcado en un círculo rojo se puede observar el orificio por donde se introdujo el tubo para realizar el experimento. En cambio en las figura 3.5 A y B se muestran las imágenes del tubo, en la izquierda se puede ver la diferencia del área desgastada pues se mantuvo en contacto con el flujo de gases en el cual se encontraban partículas abrasivas provenientes del clínquer. En la derecha se muestra un *antes* (abajo) y un *después* (arriba) donde se observa el tubo antes del experimento.

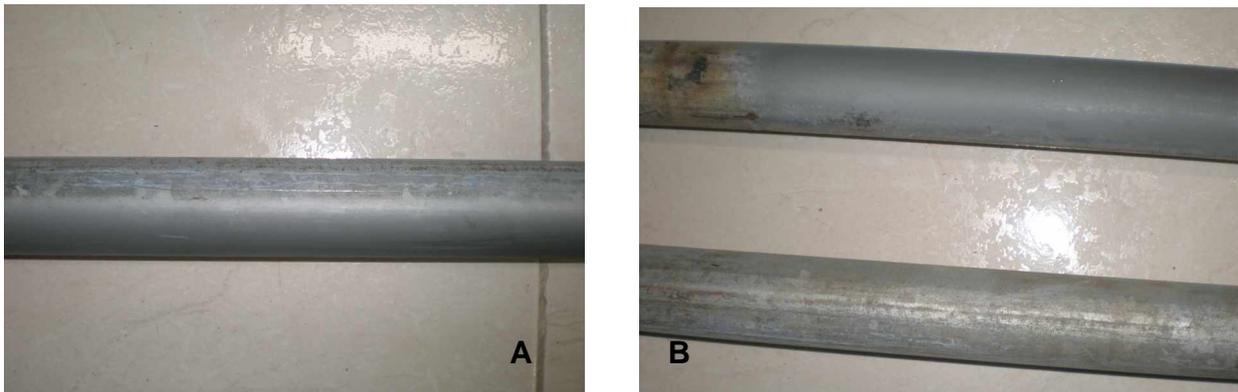


Fig. 3.5– Imagen del tubo luego de pasado un mes dentro de los conductos del enfriador del clínquer. A: Desgaste (perfil) B: Antes – Después. Fuente: Imágenes propias

El experimento dio la posibilidad de una forma de recuperación del calor, pues si en un mes prácticamente el tubo de garban presento un desgaste de 0.05 mm para un espesor de lámina del tubo de 4.25 mm eso equivale que para que el desgaste logre crear un orificio en el tubo se necesitan unos 85 meses lo cual equivale a aproximadamente unos 7 años. En cambio se mostró en este experimento algo irregular, que el mayor desgaste que corresponde al antes mencionado se encontraba en un extremo del tubo mientras que el otro no mostró casi ningún cambio en la superficie del tubo. Ver la figura 3.6 A y B (arriba), pero en las imágenes C y D se muestra un desgastes más progresivo que tiene que ver con el posicionamiento y las vibraciones del tubo con el orificio que se le construyó para posicionarlo.

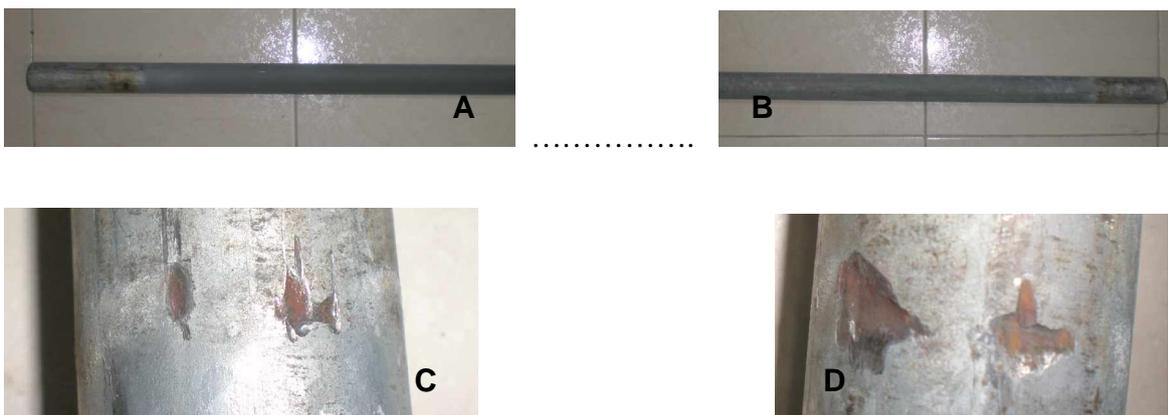


Fig. 3.6– Algunas imágenes de los diferentes desgastes del tubo. Fuente: Imágenes propias

Por otra parte, el aire que salen del enfriador pierde temperatura al pasar por los ciclones por lo que sería mejor recuperar todo el calor posible si se colocaran estas tuberías en el interior del enfriador, para esto se necesita crear las condiciones necesarias para posicionar los tubos en las paredes del enfriador. Las ventaja que presenta este aprovechamiento de recuperación del calor en los conductos del aire a la salida de los enfriadores es que, a diferencia de la alternativa anterior, esta área se encuentra muy cerca de todos los procesos que necesitan calor, de hecho las calderas se encuentran en el piso inferior, los recipientes de combustibles para el uso momentáneo se encuentran en el piso superior y las estaciones precalentadoras del combustible están al lado a menos de 7 metros.

3.4 - Recuperación de calor por radiación y convección mediante las paredes de los hornos.

Otra forma de recuperar calor es en las paredes de los hornos, la cual es el área donde más calor se puede obtener. Esta zona está expuesta al medio ambiente y es la de mayores pérdidas de calor tanto por las temperaturas que llega alcanzar la superficie del horno y por la gran área que ocupa toda esta superficie.

Alrededor de estas paredes se puede instalar un sistema de caperuza que cubra las zonas de mayor temperatura, a través del interior de la caperuza va a circular agua con el objetivo de evaporarla y obtener un volumen de vapor de agua que pueda ser integrado a la producción.

La zona más caliente de las paredes del horno es aquellas en la que ocurre el proceso de sinterización, en la Fábrica de Cemento “Siguaney” se han registrado temperaturas de la chapa de 400 °C para el horno de clínquer gris y superiores a los 500 °C para el caso del horno blanco.

En una estación experimental y actualmente en funcionamiento en Alemania se aprovecha este calor de radiación para calefacción de los edificios, oficinas y laboratorios de la fábrica.(SERELAND, 1987)

Por lo antes expuesto existe una gran motivación en tratar de experimentar la posibilidad de que esta alternativa pueda ser útil para la fábrica, porque si hasta el momento calores de unos 200 °C pueden dar la posibilidad de que se caliente el combustible para reducir el consumo de la caldera y

de que el combustible sea operable sin necesidad de consumo adicional, esta recuperación del calor puede dar la posibilidad de generación de vapor para otros procesos como o incluso pudiera dar la posibilidad de cogeneración.

El equipo de la estación experimental de Alemania no es más que una carcasa metálica de la misma forma que el horno con un diámetro no muy superior al diámetro exterior del horno la cual está dividida en dos mitades abatibles, con el propósito de facilitar el mantenimiento y de regular su distancia con respecto a la superficie del horno. Este colector lleva conectado alrededor del mismo una red de tubos llenos de agua que al absorber el calor se evapora y puede ser utilizada para calefacción (ver figura 3.7). Este colector arrojó los siguientes resultados:

- Con temperaturas de 370 °C, aporta 650 kW
- Con temperaturas de 300 °C, aporta 400 kW
- Temperaturas del fluido circulante: 100 °C a la salida de la superficie calefactora y 80 °C de retorno.

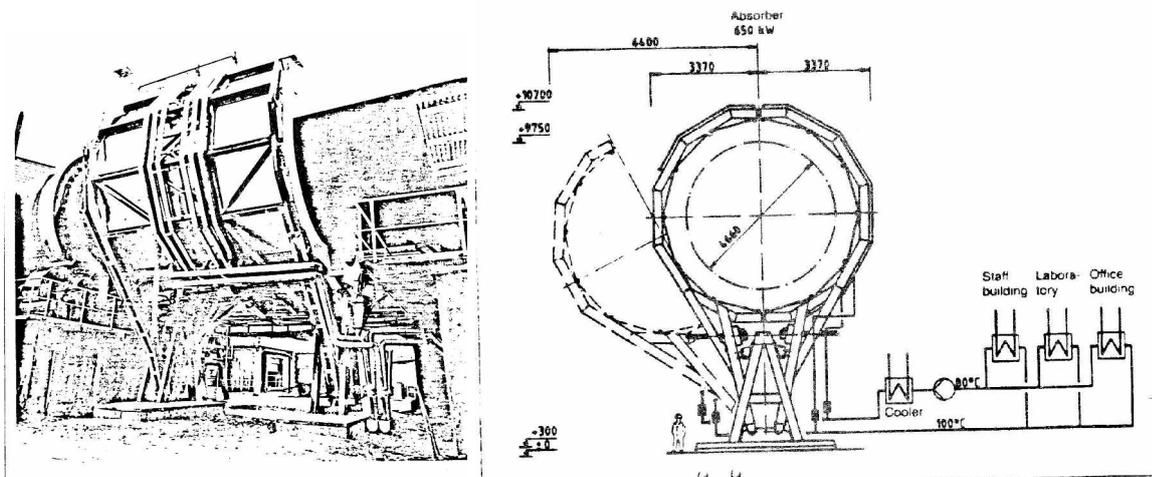


Fig. 3.7—Imágenes del colector de calor en la estación experimental en Alemania.

Fuente:(SERELAND, 1987)

Por otra parte en una fábrica de Turquía se ha estudiado, por medio de una alternativa parecida a la anterior, la forma de poder recuperar el calor que se pierde por convección y radiación por las paredes del horno, los datos que arroja la investigación es que las pérdidas exegéticas están sobre

los 217.31 GJ lo cual representa casi un 50 % de lo que genera la industria y las pérdidas por calor están en un valor de 4191.59 kW para 573 K de temperatura. (Sögüt, Oktay, & Karakoç, 2009)

El sistema de los turcos está formado por una serie de tubos en línea los cuales tienen alrededor un metal que al recibir el calor es capaz de reflejarlo sobre diferentes líneas centrales en las cuales está ubicada cada tubo del sistema de colección de calor, sobre esta carcasa metálica reflectora se encuentra un aislante térmico y sobre esta una lámina metálica para proteger el aislante. Ver figura 3.8.

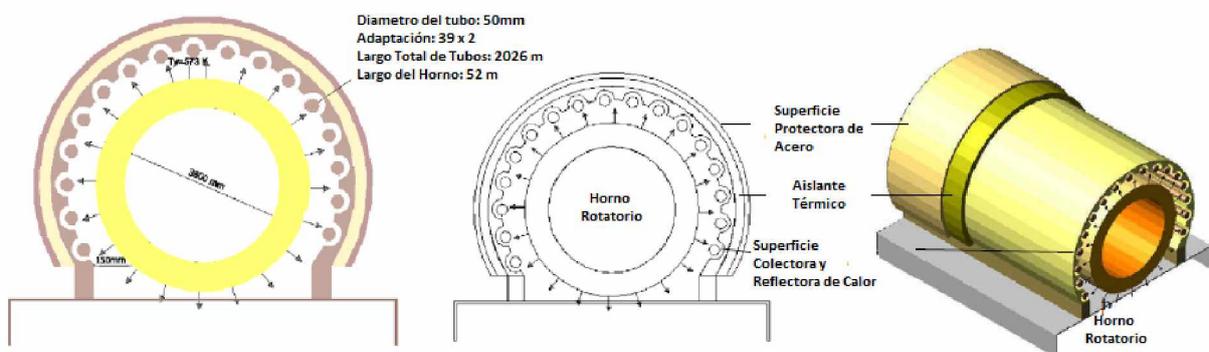


Fig. 3.8–Imágenes del colector de calor en una industria cementera de Turquía. Fuente: (Sögüt et al., 2009)

Partiendo de estos dos experimentos expuestos y realizados en diferentes partes del mundo, existe el interés de realizar una investigación sobre el mismo tema en la Industria de Cemento “Siguaney” donde el colector será laminado por ambas partes y estará lleno de agua y como en el colector realizado en Alemania estará seccionado en dos, para un mejor regulación y mantenimiento de este y del horno.

3.5 – Conclusiones parciales del capítulo 3

1-Teniendo en cuenta los cálculos realizados en el capítulo anterior se tiene que en el horno se puede recuperar calor en tres partes, en la chimenea por el calor de los gases de escape, en las

paredes del horno por radiación y convección y en los enfriaderos de clínquer por el aire caliente a la salida del enfriador. Para estas tres zonas se propusieron algunas alternativas, las cuales, según las características de trabajo de la zona donde se recuperará el calor puede ser rentable o no su aplicación.

Conclusiones generales:

- 1- Se realizó un estudio acerca de la eficiencia energética en la producción de cemento con respecto a la recuperación de calor en hornos de otras fábricas de cemento del mundo, dando a conocer que es posible integrar, disminuir o recuperar las pérdidas tanto térmicas como de combustible en el área del horno de clínquer.
- 2- Se estudió el proceso de obtención del clínquer, el cual consume gran cantidad de energía tanto de combustible, como de energía eléctrica y energía térmica, para lo que es necesario tener un control estricto de estos indicadores de consumo a pesar de que las condiciones de trabajo y recursos tecnológicos con que cuenta esta empresa no son los mejores.
- 3- Se realizaron estudios energéticos, térmicos y exergéticos donde se obtuvieron resultados que demuestran la gran cantidad de calor que se pierde por diferentes partes de este en la producción de clínquer. Dicho calor en las condiciones actuales que trabaja la fábrica no se aprovecha, por lo que sería de gran importancia la incorporación de los sistemas que se plantean en el capítulo 3 para recuperar el calor que se pierde.
- 4- Se propuso alternativas para la recuperación de calor en los hornos, y el posterior uso en su integración al proceso, y así crear un beneficio al disminuir el costo de producción y tener menos gastos de energía en el proceso lo cual es muy importante ya que esta empresa es la mayor consumidora de energía de la provincia de Sancti-Spíritus.

Recomendaciones:

- 1 Se recomienda realizar un estudio más exhaustivo sobre las alternativas planteadas en esta tesis que permitan recuperar el calor que se pierde en los hornos del clínquer y que puedan ser utilizados en alguna parte del proceso fabril.
- 2 Se considera conveniente realizar un estudio más profundo acerca los aportes económicos que se puedan obtener a raíz de la incorporación de los sistemas antes propuestos en la producción de cemento. También hacer un análisis acerca del costo de instalación de estos sistemas en las zonas de mayor pérdida de calor en los hornos.

Bibliografía.

- Abdalla, K., Berdellans, I., Contreras, M., García, A., Gómez, Y., Henríquez, V. B., et al. (2008). Cuba: A Country Profile on Sustainable Energy Development, *INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA* (pp. 281).
- Anónimo. (2001). Energía de la Biomasa.
- Anónimo. (2008a). EL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SIGLO XXI. Retrieved 15 de abril, 2010, from http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/10/htm/sec_9.html
- Anónimo. (2008b). Energía y sociedad Retrieved 15 de febrero, 2010, from <http://www.scribd.com/doc/16668235/1-BAXA-G5-ENERGIASMartin>
- Anónimo. (2008c). Fuentes de Energía. Retrieved 15 de febrero, 2010, from www.hiru.com/es/geografia/geografia_02350.html
- Anónimo. (2009). CARMELO DAIDONE DIRECTOR DE FÁBRICA DE HOLCIM DE LORCA. *La Verdad*, p. 3, from <http://servicios.laverdad.es/extras/aridosyhormig06/suscr/nec14.htm>
- Anónimo. (2010). El grupo Lafarge reduce más de un 12% sus emisiones de co2. Retrieved 15 de abril, 2010, from <http://www.morvedre.info/innovacio/el-grupo-lafarge-reduce-mas-de-un-12-sus-emisiones-de-co2>
- ASLAND. (1987). *Realización de un Balances Térmicos de Hornos con Intercambiador*. Paper presented at the Curso de Ahorro de Energía en el Sector del Cemento.
- Autores, C. d. (1982). *Ahorro en Procesos* (Edición Revolucionaria ed. Vol. 2). Madrid, España.
- Autores, C. d. (1998). Diagnostico Energético, Rama: Cemento. *Situación Energética de la Industria*, 84.
- Bell, J. (2007). *Concrete Energy Savings. Onsite Power in the Cement Sector*. from www.localpower.org
- CERVANTES, Y. G. (2009, jueves 9 de julio). Energía hidráulica favorece red nacional. *GRANMA*, from www.granma.cubaweb.cu/2009/07/09/nacional/artic16.html
- Duda, D.-I. W. H. (1977). *Manual Tecnológico del Cemento* (D. A. S. Gonzalez, Trans. Vol. 1). Bauverlag GmbH, Wiesbaden, Berlin.
- FAO. (2005). Importancia del carbón vegetal. Retrieved 5 de mayo, 2010, from <http://www.fao.org/docrep/q4960s/q4960s04.htm>
- Fernando, S., & Royo, J. (2002). "La Biomasa como Fuente de Energía Renovable" [Electronic Version], from <http://www.cps.unizar.es>
- Grogg, P. (2004). ENERGIA: Cuba apuesta por la diversidad energética. Retrieved 4 de abril, 2010, from <http://cubaalamano.net/sitio/client/report.php?id=63>
- Lafarge. (2010). Todo Sobre Cemento: Ecología Industrial. Retrieved 15 de abril, 2010, from http://www.lafarge.com.es/wps/portal/es/2_2_2-Ecologia_Industrial
- LARROSA, A. M. (2008). Energía eólica en Cuba: su historia Retrieved 30 de Marzo, 2010, from <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia37/HTML/articulo07.htm>
- Lutgen, P. (2006). Energía Solar, ¿Un Agujero Negro? . Retrieved 15 de abril, 2010, from www.mitosyfraudes.org/Nuke/AgujeroNegro.html

- Martín. (2008). Cuba sigue creciendo en energías renovables. Retrieved 30 de Marzo, 2010, from <http://erenovable.com/2008/03/30/cuba-sigue-creciendo-en-energias-renovables/>
- Morales, I. (2005). Historia de la Industria Petrolera en Cuba. [Electronic Version], 17, from www.energia.inf.cu/iee-mepetroshistopetro.PDF.pdf
- Nordelo, D. A. B., & Yanes, D. J. M. (2006a). *GESTIÓN ENERGÉTICA en el Sector Productivo y los Servicios*: Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos, Cuba.
- Nordelo, D. A. B., & Yanes, D. J. M. (2006b). *Gestión y Economía Energética*: Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos, Cuba.
- PCC. (2006.). Material de Estudio elaborado por los Dptos. Ideológico y de Industria Básica del CC del PCC. .
- Pérez, I. S. M. R. (1995). *Mesa Redonda Sobre el Ahorro de Energía en la Industria Cementera*. Paper presented at the Forum de Energía.
- Provincial, E. E. (2005 - 2008). *Reporte de Consumo Mensual y Anual* (No. 1-12). Sancti Spiritus: MINBASo. Document Number)
- Rivero, R. (1994). El Análisis de la Exergía. *Revista del IMIQ, Vol. II*, , pp. 14-27.
- SERELAND. (1987). *Estandares Energéticos en el Sector Cemento*. Paper presented at the Curso de Ahorro de Energía en el Sector del Cemento.
- Siguaney, E. d. C. (2005 - 2008). *Reporte de Producción Mensual* (No. 1-12). Sigauney, Taguasco, Sancti Spiritus: MINBASo. Document Number)
- Sögüt, Z., Oktay, Z., & Karakoç, H. (2009). Mathematical modeling of heat recovery from a rotary kiln. *Applied Thermal Engineering*, 817-825.
- VICENT, M. (2004 27 de diciembre). Una firma canadiense localiza reservas de 100 millones de barriles de crudo en Cuba *EL PAIS*, from http://www.elpais.com/articulo/internacional/Fidel/Castro/anuncia/hallazgo/gran/ya-cimiento/petroleo/elpepiint/20041227elpepiint_13/Tes/
- Wikipedia. (2010a, 31 mayo 2010). Biomasa. Retrieved 15 de febrero, 2010, from <http://es.wikipedia.org/wiki/Biomasa>
www.definicion-es.com/biomasa/1/
www.soloplantas.com/ver-sitio.php?id=465
- Wikipedia. (2010b, 31 mayo 2010). Energía Eólica. Retrieved 15 de febrero, 2010, from http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica
- Wikipedia. (2010c, 31 mayo 2010). Energía Renovable. Retrieved 15 de febrero, 2010, from http://es.wikipedia.org/wiki/Energia_renovable
- Wikipedia. (2010d, 31 mayo 2010). Energía Renovable en Alemania. Retrieved 15 de febrero, 2010, from http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADas_renovables_en_Alemania
- Wikipedia. (2010e, 31 mayo 2010). Energy and society. Retrieved 15 de febrero, 2010, from http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_and_society
- Wikipedia. (2010f, 31 mayo 2010). List of countries by oil consumption. Retrieved 15 de febrero, 2010, from http://es.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_oil_consumption
- Wikipedia. (2010g, 31 mayo 2010). Petroleo. Retrieved 15 de febrero, 2010, from <http://es.wikipedia.org/wiki/petroleo>

BIBLIOGRAFÍA

- Wikipedia. (2010h, 31 mayo 2010). Precio del Petroleo. Retrieved 15 de febrero, 2010, from http://es.wikipedia.org/wiki/Precio_del_petróleo
- Wikipedia. (2010i, 31 mayo 2010). Special Period. Retrieved 15 de febrero, 2010, from http://en.wikipedia.org/wiki/Special_Period
- Wikipedia. (2010j, 31 mayo 2010). WTI price 96 09. Retrieved 15 de febrero, 2010, from http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c7/WTI_price_96_09.svg

Anexo # 1: Fotografía espacial de la Fábrica de Cemento “Siguaney” y explicación de las áreas.

1. Entrada.
2. Organopónico
3. Parqueo.
4. Taller Automotriz.
5. Almacén de Refractario.
6. Almacén de Piezas.
7. Almacén de Piezas.
8. Edificio Administrativo. (Dirección General, EMCV y EAS)
9. Comedor y Cocina.
10. Edificio Administrativo. (Economía, Mantenimiento, Técnico y Producción)
11. Laboratorio Químico.
12. Taller Eléctrico y Mecánico
13. Línea Férrea.
14. Oficinas UEB Productivas.
15. Almacén Central.
16. Empacadora de Cemento Blanco (Bolsas de 1 kg.)
17. Taller Industrial, Pailería y Soldadura.
18. Sala de Compresores.
19. Almacén de Combustible Industrial.
20. Transportador de Clinquer Blanco.
21. Enfriaderos de los Hornos y Calderas.
22. Silos de Clinquer Blanco.
23. Almacén de Materias Primas. (Clinquer Gris, Hierro, Caliza, Yeso, Caolín, Zeolita)
24. Molinos de Cemento. (1 Blanco, 2 Grises)
25. Molinos de Crudo.
26. Casa Empaque Cemento Blanco y Gris. (Bolsas de 42.5 kg)
27. Entrega de Cemento a Granel.
28. Entrega de Cemento a Granel.
29. Silos de Cemento (2 Blancos y 3 Grises)
30. Parqueo de Equipos a la Carga.
31. Dirección de Venta.
32. Horno 4. (Clinquer Blanco)
33. Horno 3. (Clinquer Gris)
34. Horno 2. (Clinquer Gris)
35. Horno 1. (Clinquer Gris)
36. Zona de Alimentación Hornos.
37. Trituradora
38. Subestación de Filtro y Tratamiento de Agua.
39. Homogenizador # 11 (Pasta Blanca)
40. Homogenizador # 12 (Pasta Gris)
41. Homogenizador # 13 (Pasta Gris)
42. Silos de Pasta, Laboratorio Químico. (3 Blanco y 5 Grises)
43. Diluidotes de Arcilla.
44. Subestación Eléctrica. (Medio y Bajo Voltaje)
45. Patio Subestación Eléctrica. (Alto Voltaje)
46. Merendero.
47. Chimeneas.
48. Bombas de Petróleo.
49. Acceso a las Canteras.
50. Descargadero de Yeso y Hierro.
51. Planta de Enfriamiento de Agua.
52. Basculas de Carretera.
53. Bascula de Ferrocarril.
54. Línea Férrea.



139 m

© 2006 Europa Technologies
Image © 2006 DigitalGlobe

©2006 Google™

untero 21°59'14.45" N 79°18'24.74" W elev. 74 m

Secuencia: ||||| 100%

Alt: ojo 561 m

