



CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

**MAESTRÍA EN ECONOMÍA Y GESTIÓN DEL CAMBIO
TECNOLÓGICO**

**LA VARIABLE AMBIENTAL EN LA TRAYECTORIA
TECNOLÓGICA DE LA INDUSTRIA CEMENTERA**

**TESIS QUE, PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ECONOMÍA Y GESTIÓN DEL
CAMBIO TECNOLÓGICO, PRESENTA**

ANGEL EDUARDO FLORES ROMERO

ASESOR:

ING. JOSÉ ANTONIO ESTEVA MARABOTO

MAYO 2003

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción	
2.	Tema de Investigación	
3.	Metodología para el Desarrollo de la Investigación.....	
4.	Marco Conceptual.....	
4.1.	Antecedentes	
4.2.	Cambio Tecnológico e Impacto Ambiental	
4.3.	Trayectorias Tecnológicas	
4.3.1.	Concepto de tecnología	
4.3.2.	Paradigma tecnológico	
4.3.3.	Trayectorias tecnológicas.....	
4.4.	Reducción de la Contaminación.....	
4.4.1.	Orígenes del paradigma ambiental.....	
4.4.2.	El uso racional de los energéticos ¿Un nuevo paradigma?.....	
4.4.3.	El consumo de “productos limpios” una cultura que sé esta arraig.....	
4.4.4.	La correlación de fuerzas entre agentes	
5.	Características de la Industria del Cemento	
5.1.	Antecedentes	
5.2.	La Industria del Cemento en el Mundo.....	
5.2.1.	Distribución del mercado	
5.2.2.	Producción mundial	
5.3.	La Industria del Cemento en México.....	
5.3.1.	Participación de mercado	
5.3.2.	Producción nacional	
5.3.3.	Comercio exterior	
5.3.4.	Precios	
5.3.5.	Créditos	
5.3.6.	Estructura interna	
5.3.7.	Potencial de mercado	
5.3.8.	Fortalezas y debilidades	
6.	Contaminación Ambiental en las Fuentes Fijas de Emisión	
6.1.	Antecedentes	
6.2.	El Problema Ambiental en el Mundo.....	
6.2.1.	El efecto invernadero	

6.2.2. El uso de la energía y su influencia sobre el medio ambiente	
6.2.3. El desarrollo sustentable, una posible solución	
6.3. Contaminación Ambiental en México	
6.4. Emisiones Contaminantes Presentes en la Elaboración del Cemento.....	
6.5. El Marco Institucional de la Gestión Ambiental de la Industria Cementera	
7. Desempeño Económico y Ambiental en la Industria del Cemento.....	
7.1. Antecedentes	
7.2. Desempeño Económico de la Industria.....	
7.3. Desempeño Ambiental de la Industria	
8. Proceso de Elaboración del Cemento	
9. Trayectorias Tecnológicas en la Etapa de Calcinación	
9.1. Antecedentes	
9.2. Trayectoria Tecnológica de la Combustión	
9.3. Trayectoria Tecnológica del Intercambio de Calor.....	
9.4. Trayectoria Tecnológica del Uso de los Energéticos.....	
9.5. Trayectoria Tecnológica de los Colectores de Polvos	
10. Interpretación de la Información	
10.1. Antecedentes	
10.2. Análisis de las Tecnologías Empleadas para la Elaboración del Cemento.....	
10.2.1. Tecnología de la combustión y contaminación ambiental	
10.2.2. Tecnología del intercambio de calor	
10.2.3. Tecnología del uso de unenergéticos	
10.2.4. Tecnología de los colectores de polvos.....	
11. Conclusiones	
Referencias Bibliográficas.....	
Páginas en Internet	
Anexo 1. Trayectorias Tecnológicas de la Industria del Cemento	
1. Trayectoria Tecnológica de la Combustión	
2. Trayectoria Tecnológica del Intercambio de Calor.....	
3. Trayectoria Tecnológica del Uso de Energéticos	
4. Trayectoria Tecnológica de los Colectores de Polvos	
Anexo 2. Norma Oficial Mexicana para la Industria de Elaboración de Cemento	

1. INTRODUCCIÓN

Los problemas ambientales no son producto de la fatalidad, están relacionados con las intervenciones humanas, y estas presentan muchos componentes, no solo el científico y el tecnológico, el político, jurídico y el social (Osorio. C, 2000). La modernidad implica la búsqueda de comodidades, por lo que las acciones responsables que dejen de lado los escenarios “amarillistas” que presentan algunos grupos “ecologistas” que tienen fines distintos a la mitigación de los efectos al medio ambiente.

La preocupación por el cuidado ambiental y las estrictas normas ambientales a nivel mundial, han logrado que la tecnología sufra una selección natural, que se pueda minimizar el efecto, que la actividad productiva tiene sobre el ambiente. El patrimonio tecnológico de las empresas deberá ser congruente con su razón de ser (misión, visión, valores, etc.) y puesto que en la actualidad las empresas han adoptado al cuidado del medio ambiente como uno de sus valores (y en ocasiones como parte de su misión), es de esperarse que la evolución tecnológica de estas empresas sea en una continua armonía entre esta razón de ser y el patrimonio tecnológico con el que consiguen su principal fin: obtener los máximos beneficios económicos a través de la actividad productiva y generar mayor bienestar social.

De toda la gama de posibles sectores industriales que pueden ser de interés, dentro de un tema de tesis, se ha seleccionado a la industria de elaboración de alimentos debido a las siguientes razones:

1. Se trata de una industria que maneja grandes cantidades de insumos y es muy madura para generar igualmente grandes cantidades de producto, y por lo tanto, grandes cantidades de contaminantes.
2. El Banco Mundial (1997) realizó un estudio a cerca del desempeño ambiental de la industria mexicana, que abarca los cuatro sectores, que se estima g

75 % y 95 % de la contaminación en México: alimentos, química, minerales metálicos y metales. Dentro de los minerales no metálicos se encuentra la industria de elaboración del cemento, es decir, esta industria se ha catalogado dentro de las que contaminan de forma importante en nuestro país.

3. En México, mientras que en todos los sectores industriales se nota un importante incremento, la cementera es la única industria que muestra una reducción en el costo por agotamiento y degradación ambiental entre los años 1993 y 1998 (ver sección 7.2).
4. La tecnología utilizada para la elaboración del cemento se encuentra en la fase madura, por lo que los cambios o innovaciones en ella, seguramente son de tipo incremental, mismas que van describiendo el patrón de evolución de la trayectoria tecnológica.

Para las plantas de elaboración de cemento, es crucial el cuidado del medio ambiente de la cantidad de producto (y por consiguiente de contaminantes) que se generan en las plantas. La reducción de contaminantes, no solo repercutirá en el cuidado del medio ambiente, también se presentarán beneficios económicos, sociales, productivos y de otro índole.

Con este trabajo no se pretende mejorar el desempeño ambiental mundial, ni colocar etiquetas verdes a aquellos que realizan acciones en pro del cuidado del medio ambiente, mucho menos se pretende convencer a nadie en formar parte de grupos ambientalistas. El fin perseguido es describir la trayectoria tecnológica seguida por la industria de elaboración de cemento, tomado como punto de referencia el cuidado del medio ambiente. Se pretende demostrar como es que la trayectoria tecnológica de esta industria, lo compaginarse con la trayectoria ambiental desarrollada en los últimos años.

2. TEMA DE INVESTIGACIÓN

La actividad medular a desarrollar en el trabajo de investigación, será observar la trayectoria tecnológica de la industria de elaboración del cemento, las innovaciones apegadas a los lineamientos del cambio de paradigma ambiental que describen la evolución de la trayectoria tecnológica de esta industria.

El objetivo principal es dar respuesta a una pregunta central: *¿Los cambios en el comportamiento ambiental de la industria cementera modifican la trayectoria tecnológica de la industria cementera de forma deliberada?* El responder esta pregunta tiene como finalidad de identificar si la dirección y sentido que tomó la trayectoria tecnológica de la industria de elaboración del cemento, tienen correspondencia con los cambios del nuevo paradigma; o si no fuera así, observar cuál es el sentido que tomó la trayectoria tecnológica de la industria del cemento.

Adicionalmente se puede identificar una pregunta secundaria que buscará responderse a lo largo del desarrollo del proyecto de tesis y que servirá como complemento de la pregunta principal. La pregunta secundaria más importante es:

¿Cuál ha sido la naturaleza de las innovaciones incrementales realizadas en equipos, materiales, insumos, métodos y prácticas en la etapa de calcinación del proceso de elaboración del cemento? Con esta pregunta se pretende saber las bases de las innovaciones dentro de la etapa más importante (y donde se genera la mayor cantidad de contaminantes) del proceso de elaboración del cemento, la calcinación. Seguramente, dentro de la naturaleza de las innovaciones, se evaluará el grado de presencia de la variable ambiental.

Después de analizar la bibliografía referente a las trayectorias tecnológicas, el cambio de paradigma ambiental y a la tecnología de elaboración del cemento, se ha

aquellas teorías que servirán como base para la investigación, las cuales se encuentran desarrolladas a detalle en el marco conceptual de éste documento y han dado pauta para encontrar cuatro puntos importantes para dar respuesta a la pregunta de investigación:

1. Dado que la mayoría de los autores se refieren a las trayectorias tecnológicas desde un nivel macro (industrial, nacional, mundial), en el trabajo de investigación se tomará en consideración la definición de Burgueño y Pittaluga (1994), quienes contemplan a las trayectorias tecnológicas desde una dimensión sectorial hasta una dimensión empresarial. Se analizará la trayectoria tecnológica a nivel industrial. Esta idea está reforzada por la definición de Malerba (1992) donde dice que las firmas generan un rango de trayectorias de avance tecnológico mediante diversas formas de aprendizaje.
2. Por otro lado, la definición de paradigma de Kuhn (1962), así como la definición de paradigma tecnológico de Dosi (1988), la definición de cambio de paradigma de Carlota Pérez (1986) y el concepto de cambio de paradigma ambiental, dan pauta para trabajar bajo la condicionante de que la preocupación por el grave deterioro del medio ambiente, si aún no lo ha generado, muy pronto generará un cambio de paradigma en casi todos los sectores productivos, y la industria de elaboración del cemento no es la excepción.
3. Tomando en consideración la teoría de Burgueño y Pittaluga (1994) en la cual dice que la trayectoria tecnológica está constituida por una serie ordenada y acumulativa de innovaciones sucesivas que caracterizan los desarrollos y cambios experimentados por las tecnologías a medida que se definen y emplean en actividades de producción de bienes y servicios, se deja entrever que las innovaciones incrementales constituyen el alma de la trayectoria tecnológica.
4. Considerando que las publicaciones de los expertos en el tema de la industria de elaboración del cemento, como es el caso de la publicación de Soriano (2002) en la cual proporciona el balance de masa del proceso de elaboración del cemento.

incluyendo la cantidad de contaminantes que se generan durante la calcinación; la publicación de Neumann (1992) la cual hace énfasis en la importancia de la eficiencia en el uso de los combustibles empleados en las cementeras; Neville (1999) en su publicación de la tecnología de la cual describe mucha de la química del proceso de elaboración del cemento, la cual describe mucha de la química del proceso de elaboración del cemento, la importancia radica en la calcinación del crudo. Es evidente que una de las etapas más críticas dentro del proceso de elaboración del cemento, así como la etapa donde se genera la mayor cantidad de contaminantes, es la calcinación.

Retomando la teoría de los autores mencionados en los puntos anteriores, con respecto a la preocupación por el deterioro ambiental (que se ha incrementado en las últimas décadas) puede representar un cambio de paradigma tecnológico capaz de desarrollar una tecnología cuya esencia radica en llevar a cabo innovaciones incrementales de forma sucesiva, ordenada y acumulativa; motivadas (entre otros factores) por los lineamientos de este paradigma tecnológico, cuyo punto medular, para el caso del cemento, se localiza en la etapa de calcinación.

3. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO INVESTIGACIÓN

Phillips M. (2001) describe tres tipos elementales de investigación que se aplican tanto a la investigación cuantitativa como a la cualitativa (esta última es la más utilizada en el trabajo de tesis):

- a) *Investigación exploratoria*. Se utiliza para abordar un problema, un tema nuevo de los cuales se sabe poco.
- b) *Investigación probatoria*. Mediante esta investigación se procuran definir los límites de las generalidades previamente propuestas.
- c) *Investigación para resolver problemas*. Este tipo de investigación consiste en abordar un problema concreto del mundo real y aunamos todos los recursos intelectuales que puedan contribuir a su solución.

De estos tres tipos de investigación, se tomará la primera, exploratoria. Se trata de un tema relativamente nuevo y lo cual posiblemente lleve a la frontera del conocimiento que se pueda averiguar algo útil respecto a la trayectoria tecnológica de la elaboración del cemento.

Pasos seguidos dentro de la investigación:

1. Bosquejar las trayectorias tecnológicas que ha seguido la industria y los lineamientos del paradigma tecnológico enfocándose específicamente en la etapa de calcinación.
2. Analizar la situación teórica a cerca de los paradigmas ambientales y los mismos y la posible relación entre las trayectorias tecnológicas

de elaboración de cemento con las corrientes teóricas. Así como la importancia del marco institucional en relación a la variable ambiental dentro de ésta industria.

3. Describir los hallazgos y conclusiones de la compaginación o no de las trayectorias tecnológicas de la industria de elaboración del cemento con la trayectoria ambiental.

Primeramente se realiza una búsqueda teórica a cerca de los temas tratados a lo largo del trabajo de investigación tales como: trayectoria tecnológica, cambio de paradigma tecnológico y paradigma ambiental, principalmente. Esta investigación es basada en fuentes bibliográficas, entrevistas con gente involucrada en el tema y consultas a páginas de Internet.

En una segunda etapa, se recopila la información necesaria para entender como ha evolucionado la trayectoria tecnológica de la industria de elaboración del cemento, tomando en consideración únicamente una parte muy específica del proceso de elaboración, dada la importancia que esta etapa representa para la contaminación ambiental. Por otro lado se investigan las teorías relacionadas con paradigmas y cambios de paradigma ambiental. Dicha recopilación se realiza mediante la búsqueda de documentación especializada que permitirá identificar cuál ha sido el sentido y dirección que ha tomado la trayectoria tecnológica de la industria y cómo se ha movido dentro de los lineamientos del paradigma ambiental a partir de la introducción de la variable ambiental en su proceso de producción.

Enseguida, se realiza una investigación en relación al ambiente institucional que guarda la industria cementera en México cuyo fin es mostrar la influencia de éste sobre la evolución de la trayectoria tecnológica de esta industria.

De igual forma se consulta información en entrevistas y con diversas personas relacionadas con el tema ambiental y el proceso de elaboración del cemento.

Finalmente se realiza un análisis de la información útil que aporte elementos para poder realizar los comentarios pertinentes y formular las conclusiones como específicas al trabajo de investigación.

Todo ello se encuentra debidamente plasmado en los capítulos siguientes preámbulo y tratando que el lector de este documento tenga una amena e páginas del mismo, comencemos a viajar por una pequeñísima parte del mundo la tecnología.

4. MARCO CONCEPTUAL: TRAYECTORIAS TECNOLÓGICAS Y REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN.

4.1. Antecedentes

Este capítulo, como su nombre lo indica, tiene la finalidad de plasmar los fundamentos teóricos que serán empleados durante la investigación, análisis y conclusión de la investigación.

Plantea las dos vertientes sobre las cuales se trabaja, por un lado con la teoría relacionada con el origen, evolución y componentes de una trayectoria tecnológica, por otro lado refleja el cómo los pocos especialistas en el tema ambiental, han realizado dicho desempeño dentro de paradigmas ambientales y sus diferentes posiciones sobre el posible cambio de paradigma ambiental.

Estas vertientes teóricas servirán para hacer una comparación cualitativa de los modelos planteado por los diversos estudiosos de cada uno de los dos grandes temas.

Las definiciones plasmadas en este capítulo serán empleadas conjuntamente con las evidencias empíricas del desempeño económico, ambiental y la función industrial a lo largo del trabajo, para llevar a término la investigación.

4.2. Cambio Tecnológico e Impacto Ambiental

Después de realizar una revisión bibliográfica y haciendo uso del acervo de bibliografía adquiridos en el posgrado, se identifican tres aspectos importantes y ligados entre sí:

1. Cambio tecnológico
2. Cambio en la producción

3. Impacto ambiental (positivo o negativo).

Difícilmente se puede concebir un cambio en la producción sin que exista detrás de ello un cambio tecnológico y a la vez que se vea modificado el aspecto ambiental. Es decir, si existe un cambio tecnológico, luego entonces se dan cambios en la producción y en el desempeño ambiental.

Cambio Tecnológico → Cambio en la Producción + Impacto ambiental

Una vez expuesto lo anterior, es conveniente aclarar que en este trabajo de investigación conviene ver las cosas de atrás para adelante, es decir teniendo como foco de atención el impacto ambiental.

Ahora es válido preguntarse ¿Qué ocurre cuando se da un cambio en el aspecto ambiental? ¿Necesariamente existen evidencias de un cambio tecnológico anterior? Y sí es así ¿el cambio tecnológico tuvo como motor el incrementar el desempeño ambiental?

Partamos de la siguiente hipótesis:

La mejora del desempeño ambiental es una situación no deliberada que se obtiene como resultado de modificar en forma significativa el tercer elemento involucrado: la producción.

Desempeño Ambiental = f(Cambio en la Producción)

Además del aspecto tecnológico (implícito en el cambio en la producción), también se encuentran presentes algunas otras variables en los cambios que sufre la parte ambiental.

No podemos dejar de lado éstas variables dado que las empresas se encuentran inmersas en un ambiente multifactorial de tal forma que es imperdonable el imaginarlas como agentes

aislados. Por lo tanto tienen una estrecha relación con otros agentes que conforman el ambiente industrial.

Viendo lo anterior mediante una relación, se puede decir que el cambio ambiental depende del cambio de otras variables como la producción¹, la actividad científica y la parte institucional, entre otras.

$$\text{Cambio Ambiental} = f(\text{Cambios en la producción}) + \text{Aspecto científico y social institucional}$$

Aun cuando el cambio técnico no se ve de manera explícita, no se debe olvidar que todas y cada una de las variables se encuentra implícito de una u otra forma. El cambio de cambio técnico y la variable ambiental no puede ser una excepción.

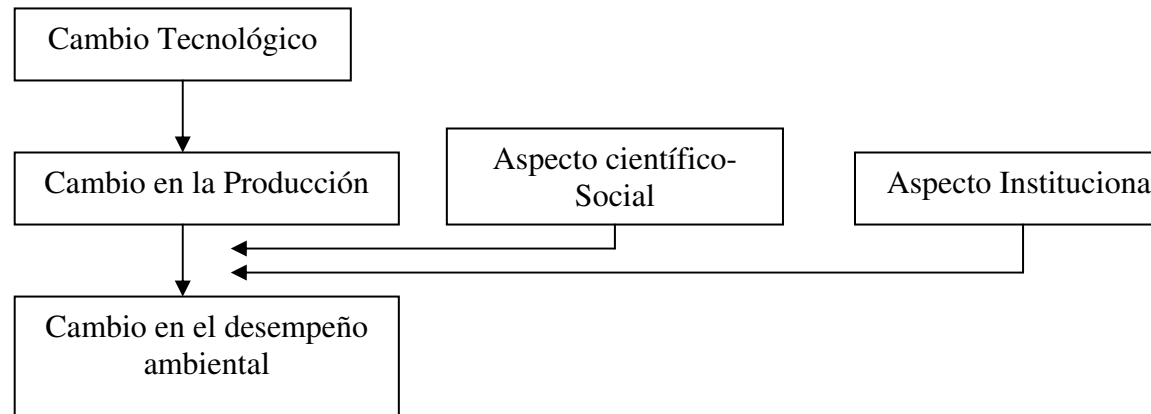
Cuando se considera el cambio en la producción, se está tomando en cuenta el cambio técnico inherente al cambio en la producción. Es decir, el cambio en la producción está regido por el cambio tecnológico que va marcando la propia industria. En este proceso involucran los mecanismos de aprendizaje que se describen en el marco conceptual de este trabajo de investigación.

En el aspecto social y científico, se debe considerar la presión que ejerce la sociedad sobre aquellas industrias que son consideradas (justificada o injustificadamente) como contaminantes. Se pueden identificar un sinnúmero de ejemplos de empresas que han sido parcial o totalmente cerradas o reubicadas por la presión social. También se puede dar casos contrarios, en donde se ve con buenos resultados a empresas respaldadas por estudios científicos que avalan los impactos ambientales.

Se debe considerar la instancia institucional puesto que es la encargada de regular la presión que ejerce la sociedad sobre los aspectos ambientales, así como

condiciones de operación estándar de las industrias. En pocas palabras es la encargada de “aterrizar” las necesidades y compromisos de la sociedad e industriales para formular normas que regulen el desempeño ambiental local, regional, nacional o global. Este elemento sirve como puente entre los agentes científico-social y el empresarial.

Figura 1. Agentes del Cambio Tecnológico



Fuente: Elaboración propia

Evidentemente coexisten otros elementos que se podrían tomar en cuenta, pero para fines prácticos, en este trabajo de investigación sólo se consideran estos elementos centrales para desarrollar el tema a lo largo de la investigación.

Dado que este es un trabajo final de investigación para un posgrado en economía y gestión tecnológica, la línea del grueso del trabajo estará sobre el aspecto tecnológico y se desprecia los otros aspectos mencionados.

¹ Contemplando únicamente el cambio en la producción que deriva de un cambio técnico.

4.3. Trayectorias Tecnológicas

4.3.1. Concepto de tecnología

Dado que a lo largo de este trabajo se estará manejando el concepto: adecuado presentar una definición formal de este concepto.

Las diferencias económicas entre los países se encuentran marcadas por los avances tecnológicos (Fagerberg, 1987). Contrariamente a lo que algunos piensan, la tecnología no se limita únicamente a máquinas y manuales de operación, sino que además incluye la representación de formas tácitas de conocimiento (Cimoli y Dosi, 1994).

Se debe considerar a la tecnología como el conjunto de elementos y actividades que se requieren para la solución específica de un problema. Para manejar estos problemas y llevarlos a cabo las actividades, se requiere tanto de conocimiento² tácito (también conocido como implícito) como de conocimiento codificado (también conocido como explícito). Este conocimiento puede estar depositado a nivel de cada uno de los individuos de la organización o en la organización misma.

Ahora se ha introducido un concepto más, conocimiento. ¿Qué es el conocimiento? ¿Dónde surge o cómo se adquiere? El conocimiento se adquiere mediante un proceso sistemático y continuo el cual, Katz (1973) llama “mecanismo de aprendizaje”. Dosi (1984) describe cinco formas principales en que se realiza este mecanismo de aprendizaje:

1. *Learning by operating*. El “aprender operando” es el flujo de experiencia que surge de las tareas productivas que se practican en la organización. Como resultado de una combinación de cambios simultáneos y aprendizaje incremental mediante la práctica mejoran las tareas de producción.

² El conocimiento puede darse de dos formas principalmente: tácito y codificado. El primero se refiere al conocimiento que se encuentra integrado en las personas, tal como las experiencias; el ejemplo más claro es el que aprende a andar en bicicleta, este conocimiento debe ser poseído por el propio individuo. El segundo tipo de conocimiento, es el que se encuentra en alguna de las formas codificadas, puede ser escrito, hablado, dibujado, diagramas, etc.

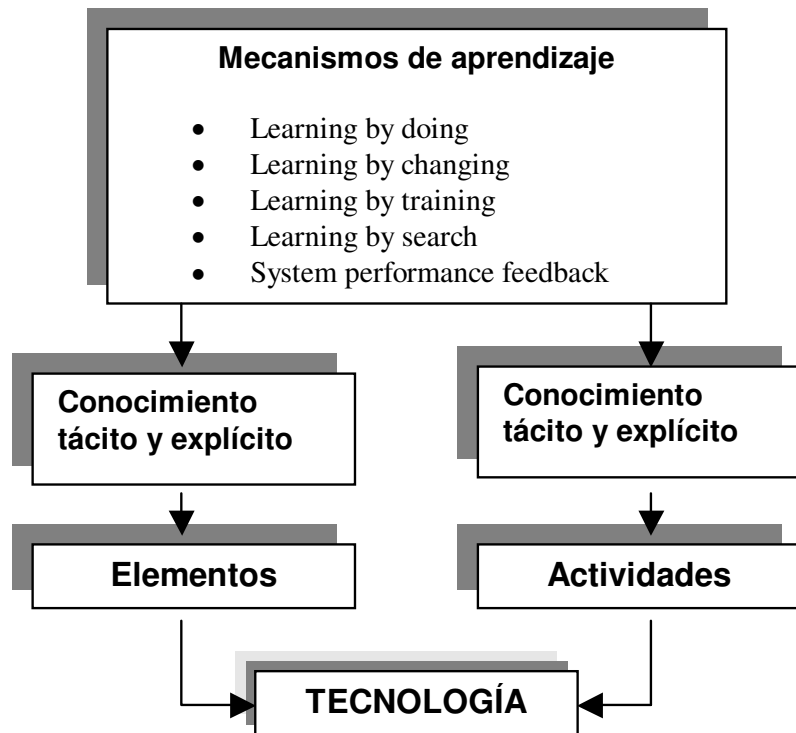
2. *Learning by changing*. “Aprender cambiando”. El desarrollo de las capacidades tecnológicas de algunas empresas se genera a partir de conocimientos relacionados con cambios técnicos y mejoras realizadas en la planta.
3. *Learning by training*. En algunos estudios se sugiere que el “aprender capacitando” fue más importante como fuente de capacidad tecnológica que la forma “aprender haciendo”.
4. *Learning by searching*. El “aprender buscando” permite adquirir capacidades tecnológicas externas que llegan a la firma en forma de conocimiento desincorporado e información: incorporada en el capital humano o mediante transferencia explícita del conocimiento que se tiene del proceso.
5. *System performance feedback*. La “retroalimentación del sistema” es una práctica importante que permite el aprendizaje de la experiencia de producción a nivel de las tareas individuales, dentro de los mecanismos institucionales de generación, revisión e interpretación de estas experiencias.

La tecnología se caracteriza por diferentes grados de ***apropiabilidad***³, ***incertidumbre*** respecto al cambio técnico y los beneficios económicos del proceso de innovación, ***oportunidad de innovación*** dentro del paradigma tecnológico y la facilidad con que se logran los cambios, ***acumulatividad*** de las innovaciones y experiencia tecnológica que se necesita para futuros desarrollos tecnológicos, y el ***nivel del conocimiento*** tácito y codificado y la experiencia en que están basadas las actividades de innovación (D'Orsenigo y Silverberg, 1988).

Resumiendo, la tecnología es una conjunción de elementos y actividades en donde se requiere de conocimiento tanto tácito como explícito el cual surge de los mecanismos de aprendizaje y a su vez presenta ciertas características propias. La siguiente figura muestra el concepto de tecnología.

³ La apropiabilidad vista como la capacidad que se tiene para obtener beneficios económicos a partir de las innovaciones.

Figura 2. Representación esquemática de la tecnología



Fuente: elaboración propia

4.3.2. Paradigma tecnológico

De acuerdo a Thomas Kuhn (1962) “un *paradigma* es un modelo o patrón de una ciencia, un paradigma raramente es un objeto para renovación, es un objeto de articulación y especificación, en condiciones nuevas o más rigurosas”. También “un *paradigma científico* es un logro científico de gran importancia que cambia la manera de hacer ciencia de los practicantes de todas las disciplinas afectadas.

Un ejemplo es la teoría de Copérnico y su influencia en la manera de hacer astronomía, o el descubrimiento del oxígeno por Lavoisier y el surgimiento de la consiguiente teoría de la combustión de todo lo que se conoce como química. Otro paradigma de gran trascendencia es la mecánica newtoniana, que unificó la astronomía y la mecánica terrestre en una superciencia, la física moderna.

son la doctrina de la evolución postulada por Darwin y la teoría celular, que cambian en los últimos ciento cincuenta años la manera de practicar las ciencias biológicas”. Esto equivale a un *paradigma científico*.

Ahora conviene saber que es un *paradigma tecnológico*. Dosi (1982) define al *paradigma tecnológico* como “un patrón de solución de problemas tecnológicos selectos, basado en principios derivados de las ciencias naturales y de tecnologías selectas”. Además expresa “la noción de *paradigma tecnológico* esta regido por la descripción de tecnologías y conocimientos en los cuales se basa una actividad en particular y contempla el cómo hacer las cosas y cómo mejorarlas”. También menciona “los factores que influyen en la aparición de cierto paradigma tecnológico son:

- i) la interacción entre demand pull y technology push
- ii) aspectos institucionales”.

Con estas definiciones, Dosi nos hace saber que los paradigmas tecnológicos conforman la base evolutiva de las trayectorias tecnológicas, es decir, las trayectorias tecnológicas son construidas sobre los paradigmas tecnológicos. Pero una trayectoria tecnológica no es aislada ni surge de la nada, tiene de fondo la interacción entre el jalón de la demanda y el empuje de la tecnología y todo un marco institucional que marcará la pauta de evolución de esta trayectoria.

Por otro lado Carlota Pérez (1985) escribe “los *paradigmas* generan modelos de equipamiento, organizaciones y sistemas, los cuales están definidos por ciertas características tecnológicas y económicas”.

Dosi (1988) enuncia “el proceso de *selección y aparición entre paradigmas tecnológicos* depende de:

- i) la naturaleza e interés de las instituciones “puente” entre la investigación pura y las aplicaciones económicas,

- ii) factores institucionales,
- iii) procesos de prueba y error asociados, a menudo, con la presencia de efectos schumpeterianos,
- iv) los criterios de selección del mercado y especialmente los requerimientos de los usuarios.

C. Pérez (1986) define “El *cambio de paradigma* tecno-económico es un cambio del patrón tecnológico y organizativo, más aún, es un cambio de sentido con respecto a las prácticas más eficientes tanto en la producción como en las actividades sociales. Un *cambio de paradigma* tecno-económico es un cambio en las herramientas y en los modos de hacer las cosas, es un cambio en patrones de posibilidades tecnológicas, es encontrarse frente a un enorme potencial de riqueza, cuyo aprovechamiento exige adoptar una nueva lógica”

Una de las definiciones más completas y que mejor describe lo que es un cambio de paradigma, es la propuesta por Carlota Pérez (1986). Por una parte, lo que es un cambio de paradigma tecno-económico, lo que refleja el impacto económico aunado al cambio tecnológico, dice que no sólo es un cambio en los patrones tecnológicos, sino que también arrastra consigo modificaciones en algunos otros patrones como el organizativo que además incitará al uso de nuevas herramientas (resultado del nuevo paradigma) y nuevas formas y maneras de pensar y hacer las cosas.

4.3.3. Trayectorias tecnológicas

Abemathy y Utterback (1975) describen la evolución de una *trayectoria tecnológica* a partir de un modelo el cual se basa en el ciclo de vida de un producto en tres estados: fluidez, transición y madurez. Al principio del ciclo, las innovaciones están orientadas a la innovación de producto, después se enfocan a la innovación de proceso y finalmente las innovaciones, tanto de proceso como de producto, disminuyen en número y significado; es entonces cuando se hace necesaria una innovación micro radical creando una nueva trayectoria y un nuevo ciclo de vida.

Dosi (1982) nos define a *la trayectoria tecnológica* como “un patrón de solución de problemas dentro de los lineamientos de un paradigma tecnológico. Una vez que un paradigma tecnológico domina, se tienen patrones de evolución en una dirección particular. Estos patrones de evolución son trayectorias tecnológicas las cuales que son determinadas en función de variables económicas, tecnológicas, sociales e institucionales. También afirma “es posible concebir el *cambio tecnológico* a través de la evolución de trayectorias tecnológicas, las cuales están delimitadas por los lineamientos de un paradigma tecnológico”.

Malerba (1992) dice “las firmas aprenden de diversas maneras, y cada una de ellas lleva a cabo mejoras en el acervo de conocimiento y capacidades tecnológicas específicas de la firma, lo que a su vez genera un rango de *trayectorias de avance tecnológico* y no una simple reducción promedio de costos. A su vez, los distintos tipos de aprendizaje abren diversas direcciones de cambio técnico incremental”.

Burgueño y Pittaluga (1994) definen las *trayectorias tecnológicas* de acuerdo a lo siguiente “los esfuerzos y creatividad de los ingenieros y organizaciones, se canalizan en direcciones precisas, cegándose a otras posibilidades. Esto da lugar al concepto de trayectoria tecnológica, constituida por una serie ordenada y acumulativa de innovaciones sucesivas que caracterizan los desarrollos y cambios experimentados por las tecnologías, medida que se difunden y emplean en las actividades de producción de bienes y servicios. Estas trayectorias tienen dimensiones sectoriales y también especificidades empresariales”.

Albar (2001) afirma “no hay nada de natural en las *trayectorias tecnológicas*. Estas trayectorias pueden explicarse mejor como instituciones, en el sentido sociológico del término: estructuras que se mantienen, pero no por una lógica interna, ni por una superioridad intrínseca, sino por el interés que acompaña a su desarrollo y por la creencia de que continuará existiendo en el futuro”.

Como el propio nombre nos sugiere, la trayectoria tecnológica se mueve en una dirección determinada por los paradigmas tecnológicos y por lo tanto es irreversible y acumulativo; que de forma natural va seleccionando o creando paquetes tecnológicos que se usan en dichas trayectorias. La adquisición de conocimientos depende, como se mencionó en el apartado anterior, del aprendizaje con lo que las organizaciones van acumulando experiencia y habilidad.

Dentro de las características de la tecnología, se encuentra la *incertidumbre* ante el *cambio técnico*. El cambio técnico es un proceso evolutivo y acumulativo, por lo que el desarrollo actual de las organizaciones es determinado por lo que fueron capaces de hacer en el pasado (Pavitt, 1992). En esta definición se puede afirmar que en todo proceso evolutivo se presenta un grado de incertidumbre aún cuando este proceso es sistémico.

Una trayectoria tecnológica lleva implícita el concepto de cambio técnico. Es prudente preguntar ¿La trayectoria tecnológica, entre diferentes sectores, se repite? La respuesta es un rotundo no. Dado que el cambio técnico es un proceso acumulativo y que cada sector tiene un papel dentro de la trayectoria tecnológica, cada sector tendrá su propia trayectoria dependiendo de las actividades pasadas. De igual forma se puede afirmar que las trayectorias tecnológicas futuras dependerán de las trayectorias actuales.

4.4. Reducción de la Contaminación

Por fortuna, dentro de este trabajo de investigación se maneja el tema del cambio de paradigma ambiental. Digo lo anterior ya que la literatura conocida al respecto es limitada, tan solo existen las evidencias de algunos expertos que proporcionan sus puntos de vista acerca del paradigma ambiental y su posible cambio hacia un nuevo paradigma.

En la revisión bibliográfica se pueden observar algunas posiciones encontradas, algunas excluyentes, a cerca del paradigma ambiental. Son no excluyentes, porque los puntos de vista convergentes a largo plazo y lo que para algunas gentes

innovación radical que marca el fin de un paradigma y el comienzo del otro, para o puede ser simplemente el comienzo de un cambio de mentalidad que coadyuvará al futuro cambio de paradigma ambiental en las próximas décadas.

Para el trabajo de investigación, es de suma importancia establecer la naturaleza, condiciones y características de los paradigmas ambientales, tanto el anterior como el nuevo (para quienes opinan que ya existe un cambio de paradigma) y los requerimientos mínimos para que se pueda decir que estamos ante un cambio de paradigma ambiental.

Estas teorías en su conjunto son útiles para identificar cómo han sido caracterizados los paradigmas ambientales y cuáles han sido los lineamientos que ha generado (o generado) la transición de un paradigma a otro, según el punto de vista de los diversos expertos en la materia.

Es probable que algunas personas no estén familiarizadas con el término paradigma ambiental. Para entrar en materia, es útil meditar a cerca de los orígenes de lo que algunos denominan el nuevo paradigma ambiental.

4.4.1. Orígenes del paradigma ambiental

La opinión de Luis Chesney (2000) es: “a diferencia de *otros paradigmas* que se han conocido en la historia de los procesos sociales, el desarrollo sustentable no es el resultado de una elaboración teórica ni de investigaciones especiales, como tampoco es un paradigma de las ciencias, sino es el producto de una sentida necesidad social de cambio ante una terrible encrucijada ambiental a que ha conducido un estilo de desarrollo despilfarrador”.

También nos dice: “desde el punto de vista del desarrollo sustentable aparecen tres formas que se relacionan con *ambiente y desarrollo*:

- i) Pobreza con presión demográfica y desarrollo.

- ii) Esquemas de crecimiento, patrones de consumo y sus efectos sobre el medio ambiente.
- iii) La dimensión financiera internacional, con los problemas de la globalización, el deterioro en términos de intercambio comercial y el financiamiento”.

Para este autor, el desarrollo sustentable es un nuevo paradigma ambiental que responde a una necesidad social al cambio y considera el término “desarrollo despilfarrado” que deja ver que está hablando, de cierta forma, en un cambio ambiental que implica una preocupación del despilfarro de recursos, tal como lo expresa Carlota Pérez.

Sin embargo Chesney llega más allá de lo superficial y trata los problemas que relaciona con el desarrollo económico y el problema ambiental. En el primer punto toma en cuenta el aspecto poblacional que efectivamente es un detonante de la contaminación. En el segundo punto toma en cuenta el consumo y su impacto en el medio ambiente. Y finalmente toma en consideración el problema del financiamiento y la movilidad de capital a nivel internacional.

Es decir, está considerando los aspectos social, industrial y financiero, quizás el rol del sector gobierno, que es el que finalmente normaliza, entre otros, al aspecto ambiental.

Para el Dr. Sergio Estrada Orihuela⁴, el *cambio de paradigma ambiental* es un concepto dado de lleno, puesto que no se han reunido las condiciones necesarias que permitan un cambio. Éstas condiciones deberán darse en los próximos 20 años y abarcan el aspecto social, empresarial y gubernamental. La opinión de Estrada es que no se puede hablar de cambio de paradigma ambiental, puesto que no se ha involucrado de manera suficiente al gobierno y sólo podemos hablar de un cambio de conciencia empresarial que implica ahorro económico y no un verdadero compromiso con el medio ambiente. Sin embargo, un buen comienzo, asegura que nos encontramos en una fase muy temprana del cambio de paradigma ambiental que probablemente será adoptado en los próximos años.

⁴ Dr. Sergio Estrada Orihuela, Director para el Desarrollo de la Investigación, UNAM. Excoordinador de los Programas Ambientales del Centro para la Innovación Tecnológica de la UNAM.

Estrada afirma: “No existe evidencia de que se esté dando un cambio de paradigma ambiental en el cual tomen parte los gobiernos y los organismos dedicados al financiamiento. En México, como en el resto del mundo, las industrias con alta solidez tecnológica, que se interesan en tecnologías limpias, no tienen como prioridad el impulso de la prevención, sino de la remediación de la contaminación ambiental. Es decir, se ha difundido un cambio de conciencia regido por la premisa: generar mayor producción con menor generación de desechos”.

Entonces el cambio de paradigma ambiental se dará cuando tanto el sector industrial como el social y el gubernamental logren hacerse presentes en una verdadera preocupación por prevenir la contaminación ambiental.

Quizá uno de los puntos de vista más acertados y apegados a la realidad actual, es el de Sergio Estrada. Si bien es cierto que se requiere de un cambio de paradigma ambiental, apenas se están dando las condiciones sociales y empresariales para que este cambio genere y pueda cambiar la forma de hacer las cosas. El cambio de paradigma no tiene que ser un proceso rápido o inmediato, tal vez nos encontramos ante un proceso que tarde algunas décadas para que se pueda visualizar perfectamente el punto de partida y el camino que se ha seguido.

4.4.2. El uso racional de los energéticos ¿Un nuevo paradigma?

Carlota Pérez, en un artículo donde analiza el contexto del desarrollo sustentable, escribe: “Desde los años setenta, el planeta entero vive tiempos turbulentos, estamos totalmente inmersos en una compleja transición que abarca desde la base tecnológica hasta el marco social e institucional, pasando por una reestructuración profunda del aparato productivo en cada uno de los países.

En efecto, se está *abandonando un patrón tecnológico* basado en el uso intensivo de energía y las materias primas y adoptando uno fundamentado en el uso intensivo de

información y la “materia gris”. Aquel llevaba casi inevitablemente a la sobrecarga del medio ambiente y a su degradación; éste tiene el potencial de protegerlo y su utilización armónica. Aquel se basaba en el capital físico tangible; éste en el capital intangible de la información y el conocimiento, incorporado esencialmente al capital humano”.

Efectivamente, lo descrito por Carlota Pérez en este artículo, es parcialmente correcto y parcialmente ya que es verdad que a partir de los años setenta se deja ver un cambio en el mundo industrializado, existe una crisis energética en donde se comienza a revalorizar significativamente a los energéticos, no solo valor monetario, sino valor en términos de importancia que estos tienen como motor de la industria moderna. Sin embargo, no es claro que se está abandonado un paradigma en el cual se usaba intensivamente los combustibles fósiles y se está adoptando otro cuya esencia radica en el uso intensivo de la información y el conocimiento “materia gris”, podría llegar a ser confuso dado que Carlota no pone lo suficiente en claro que gracias a la información y el conocimiento, se está dando un cambio de paradigma, es decir se está cambiando la forma de hacer las cosas, pero no se está abandonando totalmente el patrón de uso intensivo de energéticos, por lo menos no en el sector del petróleo y el carbón térráqueo.

Dando una mirada por los países en desarrollo, se puede observar que la tecnología normalmente es adquirida del exterior con un desfase en tiempos, es decir cuando un país en desarrollo emplea una tecnología, los países desarrollados ya se han dado un paso adelante en este mismo campo tecnológico.

Dentro de la industria, podemos encontrar múltiples ejemplos para los cuales efectivamente se está dando un cambio de patrón tecnológico basado en el uso de capital intangible (información y conocimiento) en lugar de capital físico, tales como la industria de consultoras y de servicios. Pero también podemos encontrar otro tanto número de industrias en las cuales el uso de energéticos sigue siendo intensivo dada la naturaleza del proceso productivo; como en la industria del hierro, la azucarera y la de cemento, entre otras. Claro, sí se puede verificar un menor consumo de energéticos en algunas industrias.

cada unidad de producto y esto se logra gracias a que la información y el conocimiento emplean mucho más y mejor que tiempo atrás.

Por su parte, Sergio Estrada Orihuela, no comulga con la opinión de Carlota Pérez a ce de un nuevo paradigma delimitado por el uso menos intensivo en energéticos. Afirma en la década pasada, se ha cuidado el uso de los energéticos, efectivamente, pero más por preservar una trayectoria verde, las empresas buscan maximizar sus ganancias reduciendo sus costos de producción con la puesta en marcha de medidas para reducir el consumo de energéticos que se verá reflejada en la parte económica más que en la ambiental.

Estrada opina que no se puede pensar en un cambio de paradigma ambiental partiendo de un punto en que los energéticos se han utilizado de manera más eficiente, dado que esto no es un patrón que se haya seguido por todos los sectores que deben estar involucrados. La tajante afirmación que hace Carlota Pérez, a cerca de que el paradigma energointensivo está totalmente erradicado, no es compartida de ninguna forma por Estrada. Para él, las empresas han buscado la conveniencia financiera que les otorga el hecho de usar de manera más eficientes los energéticos. Prueba de ello es la poca presencia que tiene la política energética dentro del sector gobierno.

De igual forma, C. Pérez nos dice: “Una de las fuerzas impulsoras de la propagación de los patrones de producción y consumo intensivos en energía y materias primas fue el costo cada vez más bajo del petróleo, la electricidad, los materiales plásticos y otros sintéticos. Así mismo está ocurriendo desde los años setenta con el nuevo paradigma: la microelectrónica y la información baratas facilitan la incorporación rápida de las infinitas posibilidades nuevas que ofrecen la computación y las telecomunicaciones para transformar los equipos y procesos, los modos de hacer negocios y los tipos de productos y servicios que van ir modificando el patrón de consumo en las próximas décadas”.

Con la propagación del patrón tecnológico del uso menos intensivo de energéticos en la industria y el uso de los medios electrónicos de comunicación se hace más sencilla

forma en que se realizan las transacciones (en tiempo real). Para las empresas y para las prestadoras de servicios, en particular, la tecnología de la información ha facilitado la forma y métodos de realizar las operaciones que anteriormente eran más lentas que en la actualidad. Sin embargo, las empresas cuyo punto fuerte se localiza en la prestación de servicios, el aprovechamiento de la información y el conocimiento se ve reflejado en el proceso productivo mediante el incremento de la eficiencia del mismo.

4.4.3. El consumo de “productos limpios” una cultura que sé esta arraigada

Para Sergio Estrada Orihuela, el consumo se ha visto influenciado en los últimos años por una cultura de “producto o producción limpia”. Este concepto ha sido aceptado por la sociedad de forma aceptable, puesto que las empresas han sabido vender el concepto de un producto que viene etiquetado como “producto limpio”: la reducción de contaminantes durante el proceso de producción o durante el uso del producto.

Añade, desde hace años, en Japón se ha introducido el concepto de tecnologías limpias como una respuesta a los requerimientos de la sociedad. Las empresas están dispuestas a respaldar estos conceptos como una estrategia de mercado para sus productos, envolturas, embalajes limpios o motores con menor requerimiento de combustible cuya fuente sea el combustible fósil. Esta diferencia en el producto que utiliza tecnología limpia es tomada en cuenta por la sociedad que prefiere éste tipo de productos que no emplean tecnologías limpias en su producción.

El sector industrial, dice Estrada, ha preferido implementar tecnologías limpias por conveniencia comercial, ya sea por cuestiones financieras o de mercado, o por alguna otra razón de fondo.

4.4.4. La correlación de fuerzas entre agentes⁵

La falta de compromisos vinculantes, como la obligatoria aplicación de medidas para “producción limpia”, reflejan la actual correlación de fuerzas en el mundo, dominado un poder unipolar.

Todo tiene conexión con todo. Véase el caso de los patrones de producción y de consumo prevalecientes, que constituyen un factor que ha condicionado el avance de la gestión ambiental para Latinoamérica.

Las presiones generadas por la globalización para mantener la competitividad de los países, hacen que los gobiernos no tomen iniciativas para mejorar su desempeño ambiental si ello implica mayores costos para sus productores nacionales.

Esta situación en la que los países no actúan de manera individual si el resto no lo hace por miedo a perder competitividad, y en la que, cuando se alcanzan acuerdos globales los mecanismos para su cumplimiento no están muy claros, conducen a niveles de bienestar inferiores a los que se producirían si existiera una gestión internacional coherente en materia ambiental.

En este contexto, los investigadores pusieron en duda la eficiencia de los acuerdos globales, sobre todo a partir de su proliferación. Este hecho, afirman, ha conducido al problema de “congestión” de tratados multilaterales de medio ambiente, pues en la actualidad existen más de 500 instrumentos legales frecuentemente desconectados entre sí.

Lo anterior constituye algunos de los retos que los autores del libro “*La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América latina y el caribe*”, consideran esenciales para avanzar en la construcción de sociedades sustentables, a partir de seguir explorando acciones y políticas que aproximen al mundo a una mayor armonía con la naturaleza mediante mejor distribución económica, justicia social y una efectiva democracia.

⁵ Tomado del Semanario de la UAM, Vol. IX Número 11, 2 de diciembre del 2002.

5. CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

5.1. Antecedentes

En este capítulo se describe a detalle la situación tanto económica, comercial y competitiva de la industria de elaboración de cemento en el mundo y a nivel nacional. En esta descripción se pretende colocar al lector de este trabajo en una posición que le permita entender y comprender que tan importante es la industria nacional comparada con la del mundo.

Se describe la situación que guarda la industria de elaboración del cemento en los mercados (nacional e internacional), la participación de mercado de las cementeras mundiales y nacionales, el volumen de producción y distribución entre las diversas regiones del mundo, así como los efectos del Tratado de Libre Comercio de América del Norte.

Finalmente se plasmarán las fortalezas y debilidades que presenta la industria nacional. El objetivo principal de éste capítulo es presentar la radiografía de la industria cementera en este momento.

5.2. La Industria del Cemento en el Mundo

5.2.1. Distribución del mercado

En los últimos años se ha dado una búsqueda por las posiciones estratégicas en el mercado, por lo que las principales firmas cementeras se han dado a la tarea de buscar sinergias que les fortalezcan ante los ciclos de cambio económico.

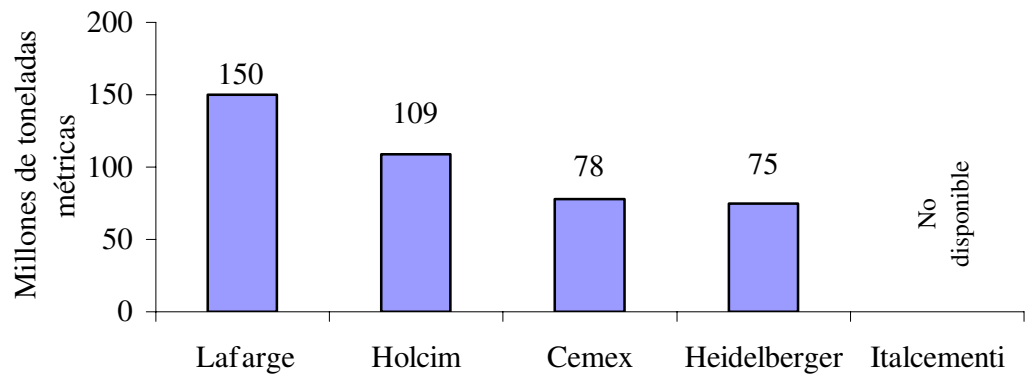
Con tres siglos de antigüedad, la industria del cemento es dominada por compañías internacionales que, gracias a multimillonarias inversiones, controlan una gran parte del mercado mundial.

la producción mundial (De la Rosa[a], 2001). Los grupos que encabezan la producción mundial de cemento son, en orden de producción:

1. Lafarge (francesa)
2. Holcim (suiza)
3. Cemex (mexicana)
4. Heidelberg (alemana)
5. Italcementi (italiana)

En la gráfica 1 se presenta la capacidad de producción de cada una de las cinco empresas que dominan el mercado mundial de cemento, representada por las toneladas de producción de cada una de ellas.

Gráfica 1. Capacidad de Producción de las Cinco Principales Cementeras



Fuente: *Oro Gris*. Revista Obras, 343, julio 2001.

Para el año 2000, según un informe de Cemex, la producción mundial alcanza los 1,4 millones de toneladas, de los cuales 470 millones (33%) estaba en manos de seis empresas. Las cinco mencionadas más Blue Circle (antes de ser adquirida por Lafarge).

participación creció en 22 puntos porcentuales en comparación con 1988 (que representa el 10% de la producción, 136 millones de toneladas).

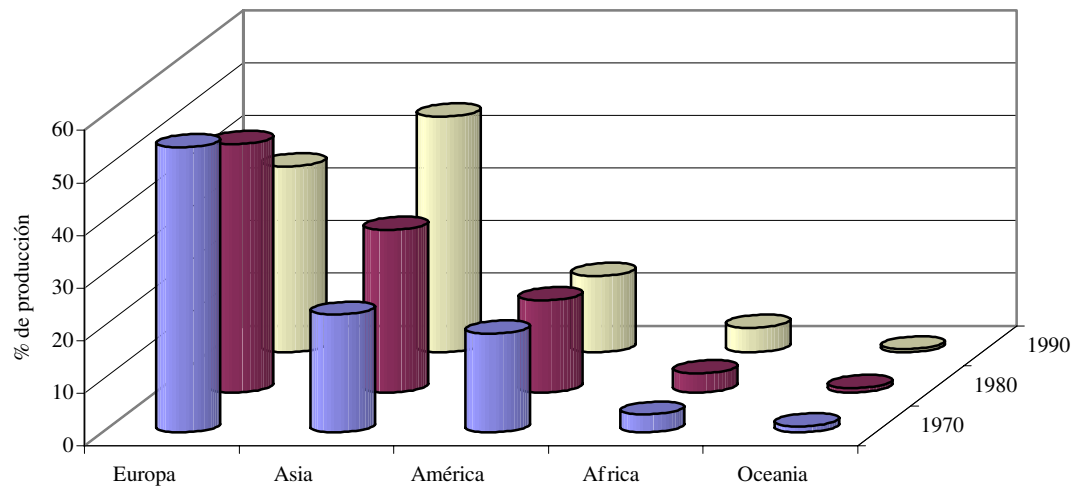
Los ejemplos más significativos de la búsqueda de la sinergia, los podemos encontrar en las adquisiciones entre empresas cementeras. Tal es el caso de Heidelberg que en el año 2001 adquirió los activos de PT Indocement, la segunda cementera de Indonesia, contando con tres plantas y una capacidad de 15.8 millones de toneladas. Esta operación, cuyo valor asciende a los 300 mmd, la firma alemana se acercó dramáticamente a Cemex. Con esta adquisición, Heidelberg aumentó su capacidad mundial de cemento en 25 %.

A principios del año 2001 se realizó la denominada “mayor adquisición de una cementera a nivel mundial”. La francesa Lafarge adquirió cerca del 77 % de la producción del quinto grupo cementero en el planeta, la inglesa Blue Circle con un monto de 2.500 millones de dólares. A partir de entonces, la firma francesa desplazó del liderazgo mundial a la inglesa, teniendo ésta última una producción por 50 millones de toneladas por año.

A finales del año 2000, la segunda mayor cementera de los Estados Unidos fue adquirida por la mexicana Cemex, cuya operación se realizó por 2.500 millones de dólares. Esta compra se destaca por ser la mayor compra que una empresa mexicana ha realizado en la historia.

Actualmente las empresas Heidelberg y Holcim ya comenzaron su incursión en el mercado asiático, el mercado con mayor consumo de cemento en el mundo. Cemex pretende entrar a Japón a través de una comercializadora y en Tailandia construir una planta pequeña.

Gráfica 2. Producción Mundial de Cemento por Continente



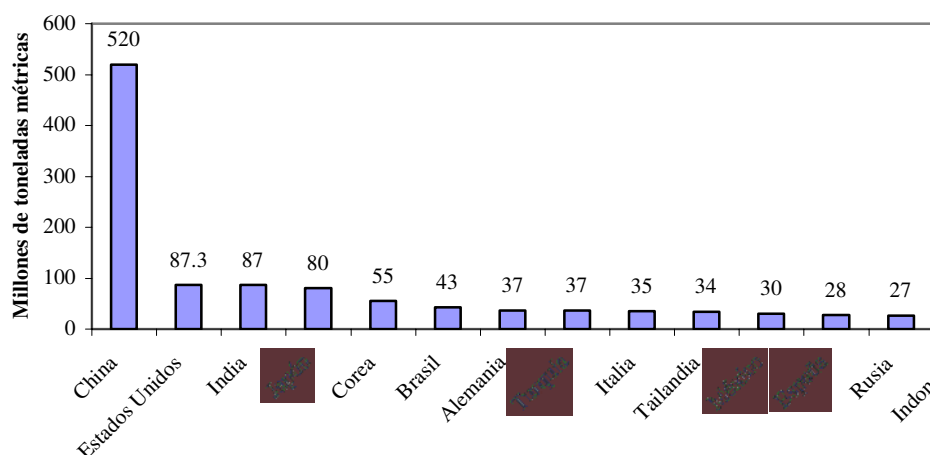
Fuente: *Cemento Hormigón*. "Evolución del consumo mundial del cemento". España, dic. 1993.

Como se puede ver en gráfico 2, la producción de cemento en Europa ha venido disminuyendo en las últimas décadas, mientras que Asia va tomando un impulso ascendente. Para los países de América, África y Oceanía; la variación no es significativa respecto a los otros dos continentes. Por consiguiente, las empresas están viendo a Asia como una puerta abierta para consolidar sus mercados y buscar las primeras posiciones a nivel mundial.

5.2.2. Producción mundial

Es importante mencionar que el 70 % del cemento utilizado en el mundo, se produce en unos pocos países, es decir, la industria del cemento tiene más de las dos terceras partes de su producción concentrada en solo 16 países y México ocupa el lugar once, dentro de esta tabla de países productores de cemento.

Gráfica 3. Países que Producen el 70 % del Cemento Utilizado en el Mundo



Fuente: Tomas de la Rosa, con datos de Global Cement 1999

Como se puede apreciar en la gráfica 3, los tres principales países asiáticos en los primeros cinco lugares de producción mundial, lo cual da una idea de la importancia del mercado asiático, siendo China el mayor productor a nivel mundial con seis veces mayor a su inmediato seguidor, Estados Unidos.

5.3. La Industria del Cemento en México

5.3.1. Participación de mercado

El mercado mexicano del cemento⁶, se encuentra concentrado en un número limitado de empresas como resultado de la consolidación que ha seguido esta industria desde los años ochenta, de este modo, son tres las firmas que predominan y constituyen el 95% de las ventas totales: **Cemex México** destaca como la principal compañía cementera, seguida por **Apasco** y en tercer lugar **Cruz Azul**; además otras firmas cuya cuota de mercado es significativamente inferior a la del primer productor regional.

⁶ La información y datos estadísticos, de este apartado, fueron tomados del Anuario Estadístico 2000.

El crecimiento de la población y los requerimientos de construcción, evidentes en un país en proceso de industrialización, hacen de México un destino sumamente atractivo para las empresas cementeras, el mismo razonamiento aplica para el resto de países de Centro y Sudamericanos.

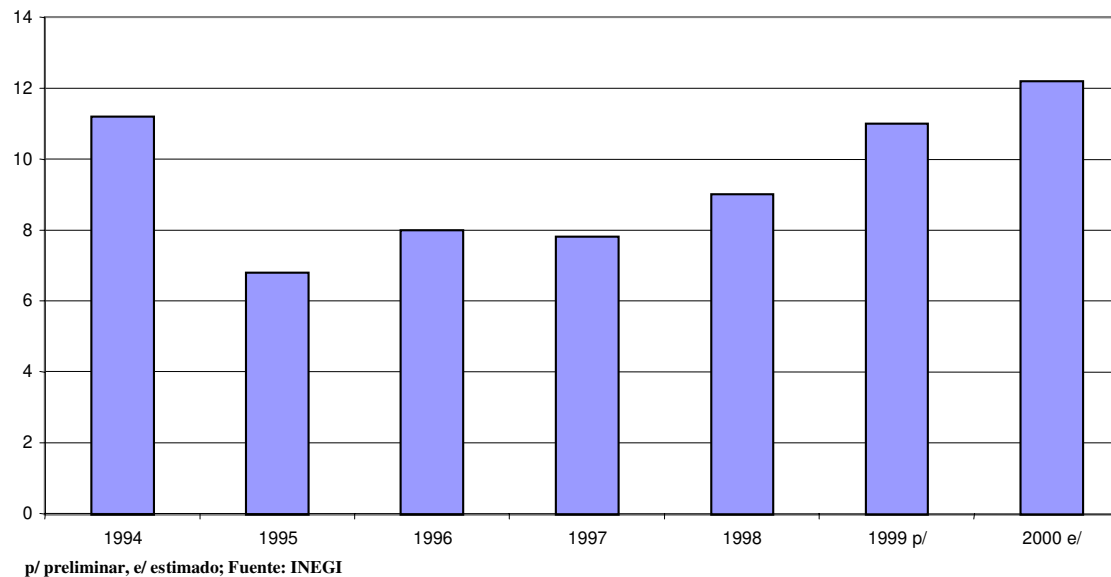
La tendencia de este sector se orienta hacia la consolidación de grandes organizaciones empresariales, con operaciones en diversos países; dentro de este esquema se complica la presencia de firmas pequeñas, las cuales serán fácilmente absorbidas por las compañías mayores, sean éstas de origen doméstico o multinacionales.

5.3.2. Producción nacional

La industria cementera ha reportado una tendencia de crecimiento sostenido desde 1994. Los resultados, expresados en el gráfico 4, confirman la recuperación de esta industria. Sin embargo, conviene destacar que a pesar de la senda ascendente, el valor real de la producción de 1999 es inferior al registrado en 1994; esto da cuenta del efecto negativo que representó para el sector la reducción del 40% ocurrido en 1995.

Gráfica 4. VALOR DE LA PRODUCCIÓN

(miles de millones de pesos de 1994)



Dentro de la industria se distinguen dos segmentos productivos fundados en la elaboración de *cemento* y producción de *concreto hidráulico premezclado*. Este subsector representa la fracción más significativa de la industria, contribuye a la producción y elabora la principal materia prima que será empleada posteriormente en la producción de concreto premezclado. Dentro de la producción de cemento el principal producto la variedad de gris tipo Pórtland⁷, cuyo valor de producción creció un 15% durante 1999.

Según los expertos, para el año 2002 se espera un repunte en la demanda de cemento. El año 2000, la industria mexicana sumó 31.5 millones de toneladas métricas, lo ubica en el nivel más alto en los últimos 14 años, incluso superando el nivel registrada en 1994, año previo a la crisis económica del 95.

Es importante señalar que en la actualidad, se tiene una mejor posición, frente al sexenio ocurrido el año 2000, ya que en el anterior cambio de gobierno, el precio del cemento cayó 25 % y para el 2001 solo cayó el 10 % (De la Rosa[b], 2001).

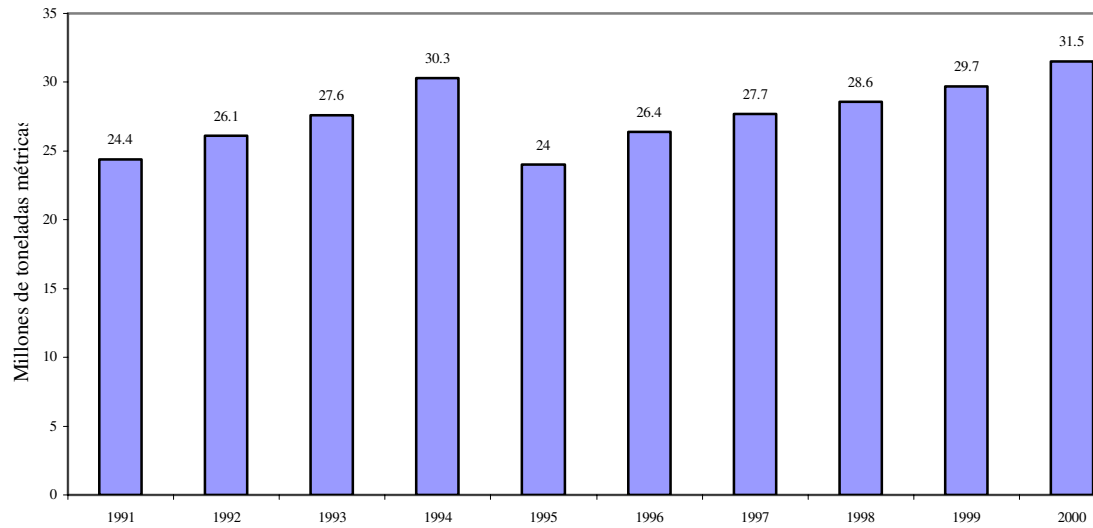
Según Francisco Suárez, analista del sector cemento, se espera que la industria tenga un excelente año dado que se arrancará con el gasto en infraestructura por parte del gobierno federal. Por otra parte, está el reciente anuncio de PEMEX que, en el 2003, las gasolinas mexicanas, tendrán una mejora sustancial al reducirse a 50 partículas por millón de azufre. Esto resulta importante, además desde el punto de vista ecológico, porque los cambios cualitativos de los combustibles solo podrán lograrse a través de la modernización de las plantas existentes y la construcción de nuevas refinerías. Esto contribuirá a detonar el otro pendiente: la infraestructura.

Claro que la demanda por parte del sector público en su conjunto, representa la cuarta parte del cemento que se consume en México (De la Rosa[b], 2001). Esto quiere decir que uno de cada dos sacos de cemento que se venden en México, es para el sector público.

⁷ El cemento Pórtland está compuesto por 95% de clínker (producto intermedio del cemento) y el 5% de aditivos, predominantemente sulfato de yeso.

autoconstrucción, es decir, el consumo hormiga, representa el 50% de la demanda de cemento.

Gráfica 5. Demanda Nacional de Cemento

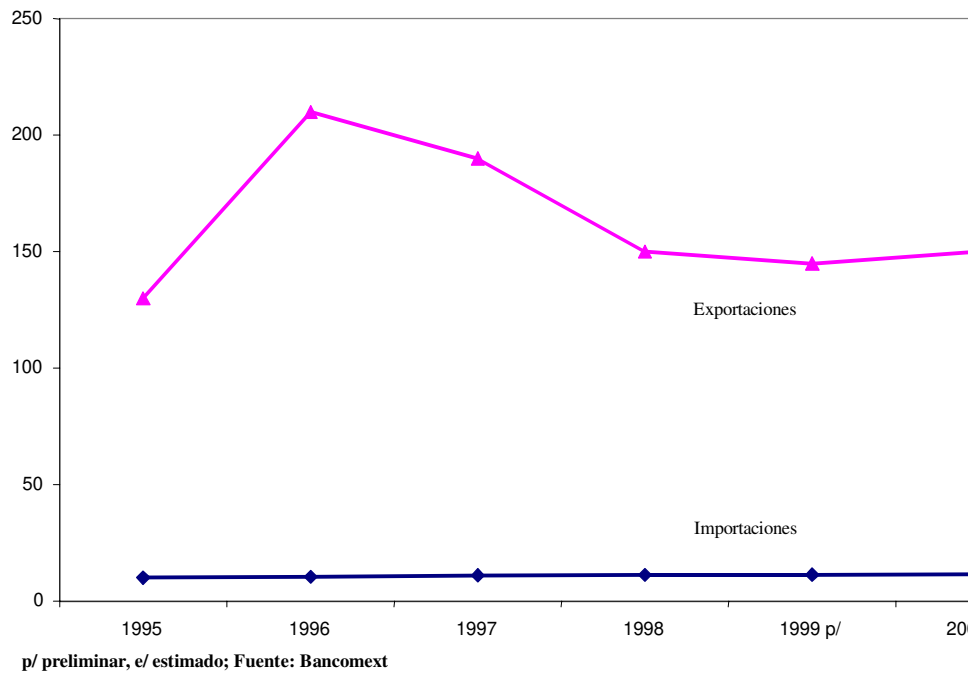


Fuente: Tomas de la Rosa

5.3.3. Comercio exterior

La elevada capacidad de producción de la industria cementera mexicana ha favorecido su posición de comercio exterior. De acuerdo con resultados preliminares, las exportaciones de cemento sumaron 142 millones de dólares en 1999, al tiempo que las importaciones totalizaron 10 millones de dólares, de tal modo que para ese año el balance comercial con el exterior fue positivo por 132 mdd.

Gráfica 6. COMERCIO EXTERIOR
(millones de dólares)



En 1999 se acumulan dos años en los que el comercio exterior de la industria cementera observa reducciones. En dicho periodo las exportaciones disminuyeron 2.1% y las importaciones aumentaron en 10.6%. Las exportaciones de clínker se dirigieron de importancia, a países de la zona del Caribe, especialmente a las Islas de las Bermudas, además de los Estados Unidos. La variedad de cemento Pórtland tipo I es un producto cuyas exportaciones mostraron un movimiento a la alza durante el periodo. Las importaciones de cemento y productos derivados tienen su origen básicamente en los Estados Unidos.

TLC

Dentro de las negociaciones del TLC con América del norte, la industria cementera mexicana resultó favorecida con la liberación del arancel a las importaciones de cemento a partir del primero de enero de 1994, al tiempo que las importaciones de Canadá y Estados Unidos mantuvieron un arancel decreciente que

totalmente en 1989. No obstante, apoyado en denuncias de productores en Estados Unidos, el Departamento de Comercio de ese país aplicó un impuesto compensatorio a las importaciones de cemento mexicano. Aunque las firmas mexicanas han protestado por dicha medida, no se prevé su eliminación inmediata, y, de acuerdo con la séptima revisión publicada en abril de 1999, dicho impuesto ubicará en 49.58% (13.28 puntos porcentuales por arriba del nivel dictaminado en la última revisión) para el periodo comprendido entre el primero de agosto de 1997 y el 13 de julio de 1997.

5.3.4. Precios

Después de que en 1998 la rentabilidad de la industria cementera –cuantificada en términos de la relación entre el índice de precios productor y el índice de precios de las materias primas consumidas durante la producción- alcanzó una posición favorable como resultado de la reducción de los precios de los energéticos derivados del petróleo, para 1999 y con la recuperación de los precios internacionales del crudo, la rentabilidad de este sector disminuyó significativamente.

Entre enero y diciembre de 1999 el crecimiento de precios productor, acumuló una tasa de 19.2%, mientras que el índice de precios de materias primas creció 18.6%. El cociente entre estas dos variaciones conduce a un índice de rentabilidad de 1.03, valor muy próximo a la unidad que significa un crecimiento idéntico entre los precios productor y los precios de las materias primas y que constituye la frontera entre rentabilidad favorable (por arriba de la unidad) y desfavorable (inferior a la unidad). El elevado consumo de combustibles por parte de la industria cementera, da cuenta de la sensibilidad a la que esta industria está expuesta en términos de variaciones en los precios de hidrocarburos.

5.3.5. Créditos

La industria cementera mexicana posee una posición privilegiada en términos de créditos recibidos del sistema bancario, al último día de octubre de 1999, el valor total de la cartera

crediticia se ubico en 3,269 millones de pesos, cifra que constituye el 1.1% del total de recursos recibidos por la industria manufacturera y alrededor de una tercera parte del total del crédito bancario que corresponde a la división de productos minerales no metálicos. La cartera vencida del sector fue de 43 millones de pesos, la cual conduce a una morosidad de 1.3%, uno de los más reducidos de la industria manufacturera. Sin duda cabe que la ventajosa posición crediticia del sector se atribuye a la generación de flujo de efectivo en las empresas que lo constituyen, factor que les permite acceder a financiamiento bancario bajo condiciones favorables, al mismo tiempo que les brinda posibilidades que tienen para allegarse recursos por medio de deuda o colateral en el mercado de capitales.

5.3.6. Estructura interna

Son tres empresas las que concentran la mayor parte de la producción de cemento hidráulico: **Cemex**, la mayor de todas, es una compañía con sede en Monterrey que cuenta con 18 plantas diversificadas a lo largo de toda la república, cuenta además con plantas en Estados Unidos, Sudamérica y Asia. **Apasco**, subsidiaria del grupo suizo Heimpel, es la segunda firma en importancia, cuenta con 6 plantas en igual número de estados. La tercera empresa que opera bajo la figura de una cooperativa con dos plantas, la primera en el estado de Hidalgo y la segunda en Oaxaca.

Por otra parte, y con un tamaño significativamente menor, **Grupo Cementos Chihuahua** ubica sus tres plantas en el estado de Chihuahua, además de tener operaciones en el sur de Estados Unidos. Otras firmas cuya cuota de producción es del 3% son **Cementos Moctezuma**, con dos fabricas en el estado de Morelos y **Pórtland Blanco de México**, que tiene una planta en el altiplano central.

Cuatro de las firmas cementeras cotizan en la Bolsa Mexicana de Valores: **Apasco**, **Cementos Moctezuma** y **Cementos de Chihuahua**. Al tercer trimestre de 1998 las ventas netas de estas tres firmas creció 7.2 %, el apalancamiento del sector fue de 1.2 %, aunque dentro de este indicador sobresale la elevada carga de deuda de **Apasco**.

Cemex (49 %). La utilidad muestra diferentes niveles para cada compañía: Apasco 14.9 % y Cemex 26.8 % (incluyendo los resultados de sus operaciones fuera de México), Cementos Moctezuma 20.3 % y Cementos de Chihuahua 10 %.

TABLA 1. ESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN POR EMPRESA

Firma	Participación %	Cobertura regional
Cemex	60	Todo el país
Apasco	23	Centro, occidente, sureste y noreste
Cruz Azul	12	Centro y sur
Cementos Chihuahua	3	Norte
Cementos Moctezuma	2	Centro y sur
Cementos Pórtland Blanco	<1	Centro

Fuente: Cámara Nacional del Cemento

La producción de concreto es altamente intensiva en capital, de acuerdo con la Cámara Nacional del Cemento en 1997 existía una capacidad instalada equivalente a 42 millones de toneladas, valor elevado si se compara con el volumen de producción a la misma fecha (27.5 millones de toneladas), la diferencia hace suponer que la capacidad instalada encuentra sobrestimada dada la probable inoperancia de algunos hornos. Las principales compañías integran su producción hacia la elaboración y venta de concreto con una producción superó los 6 millones de toneladas durante 1999.

El mercado mexicano del concreto hidráulico muestra una conformación en la que predominan las ventas por parte de distribuidores exclusivos, que ofrecen generalmente productos de una sola compañía, otro aspecto que representa una clara diferencia con respecto a los países industrializados se refiere a que alrededor del 85 % de las ventas totales son realizadas en sacos de papel (presentación de 50 kg). El resto de las ventas se efectúan a firmas productoras de concreto, fabricantes de productos de cemento y contratistas de la industria de la construcción.

5.3.7. Potencial de mercado

El crecimiento de la población así como su estructura por edades –constituido por población joven, que demandará vivienda e infraestructura en los próximos años– representan la principal garantía de la fortaleza futura del mercado de cemento en la edificación de grandes obras civiles, tales como puentes, caminos, etc. Esto representa un factor clave de expansión para la industria cementera. El bajo consumo per capita en México, con respecto a otras naciones industrializadas, abre grandes posibilidades de crecimiento.

TABLA 2. CONSUMO DE CEMENTO PER CAPITA, 1997

País	Consumo en kg.
España	685
Estados Unidos	355
México	266
Panamá	260
Colombia	215
Venezuela	204

Fuente: Cemex

5.3.8. Fortalezas y debilidades

- **Elevada eficiencia operativa.** Las principales firmas cementeras muestran altos índices de desempeño, los cuales se reflejan en la competitividad de precios, la fortaleza de sus redes de distribución hacia otros mercados. Como punto adicional, sobresale la red de comercio que ha establecido, mediante el cual efectúa, con bastante éxito, sus operaciones comerciales en el exterior en todo el mundo.
- **Disponibilidad de tecnología.** La introducción de métodos modernos facilitan el posicionamiento de las empresas a nivel mundial en un tiempo que les permite responder de modo eficiente a las demandas del mercado. Un buen ejemplo de esto es la creciente adopción de tecnologías de punta.

elaboración denominado como *seco*⁸ (en el que, a diferencia del proceso *húmedo*, quedan eliminadas la adición de agua y la formación de la mezcla durante la elaboración de cemento) implica una reducción significativa en el gasto por concepto de combustibles.

- **Barreras a la entrada.** El elevado costo de instalación de plantas, además del largo periodo de edificación, constituye la principal barrera para que ingresen nuevos productores. La baja relación entre el valor del cemento y el flete que implica su transportación, hacen poco rentable la importación, factor que se ve agravado por las deficientes instalaciones portuarias con que cuentan los litorales mexicanos y las distancias que separan a los puertos de los principales centros poblacionales e industriales.
- **Expansión mundial.** Cemex y Grupo Cementos de Chihuahua han definido dentro de sus principales estrategias el fortalecimiento de sus productos en el extranjero, la primera firma cuenta con plantas en España, Venezuela, Panamá, Colombia, Estados Unidos, República Dominicana, Filipinas, Indonesia y Egipto, mientras que por su parte Cementos de Chihuahua se dirige básicamente al mercado de la región sur de Estados Unidos. Bajo esta óptica multinacional las empresas buscan incrementar sus ventas en mercados atractivos potenciales de crecimiento, al tiempo que diversifican el riesgo de posibles fluctuaciones en la demanda.
- **Barreras no arancelarias a la exportación.** La implementación de un impuesto compensatorio a las exportaciones de cemento a los Estados Unidos ha sido impugnada por los productores mexicanos como una medida arbitraria tanto en el panel de controversias del TLC como dentro de la Organización Mundial de Comercio. Esta medida ha obligado, a las firmas a sustituir sus exportaciones con la edificación y adquisición de plantas en dicho país así como con la exportación a otras regiones del mundo, especialmente al caribe.
- **Elevada ciclicidad de la demanda.** La dependencia que guarda la industria de cemento con respecto a la de la construcción, se constituye en su principal

⁸ Ver el capítulo 3 correspondiente al proceso de elaboración de cemento.

factor de riesgo, tal y como se observó con la crisis de 1995, cuando la producción disminuyó cerca de 7 millones de toneladas. Es por ello que conviene prestar especial atención a los elementos que determinan la construcción, sea el caso de variables económicas tales como el nivel de ingresos disponible, o los programas de gasto en infraestructura e incluso planes de privatización y desregulación.

6. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LAS FUENTES DE EMISIÓN

6.1. Antecedentes

El desarrollo económico se ha ido incrementando vertiginosamente generando mayor bienestar para el ser humano pero también creando la necesidad de tener un menor impacto sobre el medio ambiente.

En las últimas décadas, las empresas y la sociedad en su conjunto, se han enfrentado a una amenaza real que inevitablemente afecta a todo organismo vivo: la contaminación al medio ambiente. A través de normas, restricciones y regulaciones, las empresas han sido “invitadas” a reducir, en la medida de lo posible, sus emisiones de contaminantes.

En el presente capítulo se pondrá de manifiesto la problemática ambiental que enfrenta actualmente a nivel mundial. Se describen los tipos de contaminantes y las estrategias para disminuir la generación de los mismos. Se plasma el comportamiento de las fuentes energéticas a lo largo de la existencia del hombre ya que el uso de éstos, es directamente ligado a la emisión de contaminantes.

Se muestran cuáles son las fuentes fijas de contaminación y se analiza la necesidad de promover un desarrollo sustentable como alternativa para lograr un mejor progreso y generación de contaminantes.

Finalmente se hace una descripción de los contaminantes emanados de la industria cementera, sus cantidades y perjuicios, así como las aportaciones de la industria mexicana a la reducción de emisiones contaminantes.

6.2. El Problema Ambiental en el Mundo

6.2.1. El efecto invernadero

Uno de los principales fenómenos observado hasta ahora es el efecto invernadero. El efecto invernadero hace alusión, como su nombre lo indica a un invernadero donde las paredes retienen el calor que proviene de los rayos solares aumentando la temperatura dentro del invernadero (con lo que se logra un rápido crecimiento en las plantas del invernadero). La atmósfera terrestre juega el papel de paredes de cristal, con lo cual se impide que la radiación solar salga a voluntad y de esta forma se tiene un preciso regulador de las estaciones del año. Sin embargo, este efecto se ve modificado con la acumulación de gases en la atmósfera, de tal forma que las paredes de nuestro invernadero se vuelven más resistentes al flujo de calor, por lo cual se ve modificada la temperatura del planeta y se alteran las estacionalidades a largo de los años.

Se estima que el 80 % de la contaminación que afecta nuestro sistema invernadero, se debe al dióxido de carbono CO_2 producido, fundamentalmente, por la industria y el transporte. En el restante 20 % encontramos: metano CH_4 , que proviene de la agricultura; óxido de nitrógeno N_2O , generado por las altas temperaturas industriales; perfluorocarbono PFC, hidrofluorocarbono HFC y hexafluoruro de azufre SF_6 (Ecotrade, 2000).

El problema principal de los contaminantes, es el tiempo de permanencia de estos en la atmósfera. Los contaminantes siguen un proceso de degradación en la atmósfera hasta alcanzar concentraciones de equilibrio que los hace permanecer periodos largos de tiempo como se muestra en la tabla 3 (Plauchú, 1995).

Tabla 3. Permanencia de los contaminantes en la atmósfera

Compuesto contaminante	Permanencia en el aire
CO	3 años
CO_2	2 a 4 años

NO	5	días
NO ₂	5	días
HC	16	años
O ₃	1 a 3	horas
SO ₂	4	días

Otro de los problemas ambientales generados por los equipos de combustión, calderas y hornos en general, es el calor disipado por pérdidas en la transformación de energía (calor de desperdicio), parte de ellas inherentes a la transformación y otras producto de la ineficiencia y prácticas inadecuadas de mantenimiento. Además de la cantidad de calor de desperdicio, es importante que el calor se disipa al ambiente. Su efecto es menor si el medio receptor es el aire y no otro como puede ser el agua de un río o el mar (Plauchú, 1995).

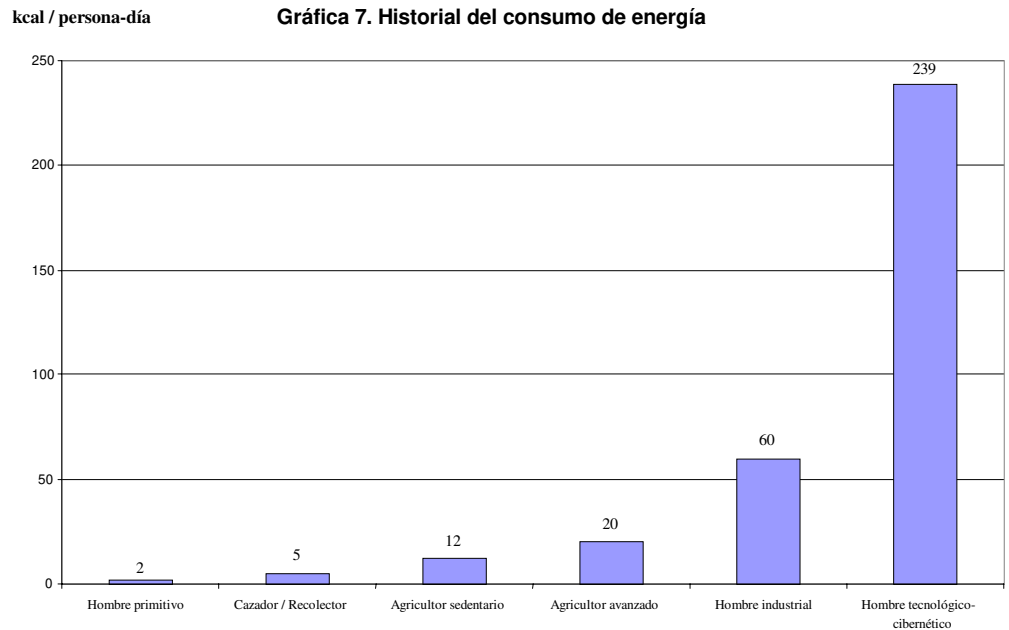
6.2.2. El uso de la energía y su influencia sobre el medio ambiente

Al inicio del siglo XX, ni la cantidad de seres que habitaban el planeta ni la tecnología resultante tenían el poder de alterar significativamente los ecosistemas. Hoy en día el número de habitantes en el planeta, que se caracteriza por un crecimiento exponencial de crecimiento acelerado; tienen el poder y la capacidad tecnológica para alterar severamente, en muchos casos de manera irreversible, los ecosistemas naturales.

Desde que el hombre realiza una de sus primeras innovaciones sobre la faz de la tierra, el uso del fuego, ha requerido de fuentes de energía que le proporcionen la materia prima que le sirve para generar éste elemento.

Para el hombre primitivo su principal fuente de energía era la leña. A lo largo de la evolución histórica del hombre, se ha venido ampliando el número de fuentes para obtener energía, a demás de la leña, se ha empleado la fuerza animal, las caídas de agua, el viento, etc. Cuando surge la revolución industrial, el mundo se ve invadido por la máquina, cuya principal fuerza motora era el vapor de agua, el cual se generaba a par

de carbón, siendo éste la principal fuente de energía hasta principios del siglo XX cuando surge el descubrimiento y explotación de extensos yacimientos de petróleo y de gas natural.



Fuente: World Energy Council, Energy for Tomorrow's World, NY, 1993.

Es evidente que los patrones actuales de uso de la energía y los recursos naturales, se han convertido en los causantes del severo deterioro ambiental del planeta. Sin embargo, a partir del planteamiento de una nueva cultura con criterios de desarrollo sustentable, se presenta la oportunidad para corregir esta situación, que afecta no solo al hábitat natural del hombre, sino a éste mismo en su economía, salud y calidad de vida (García, 1998).

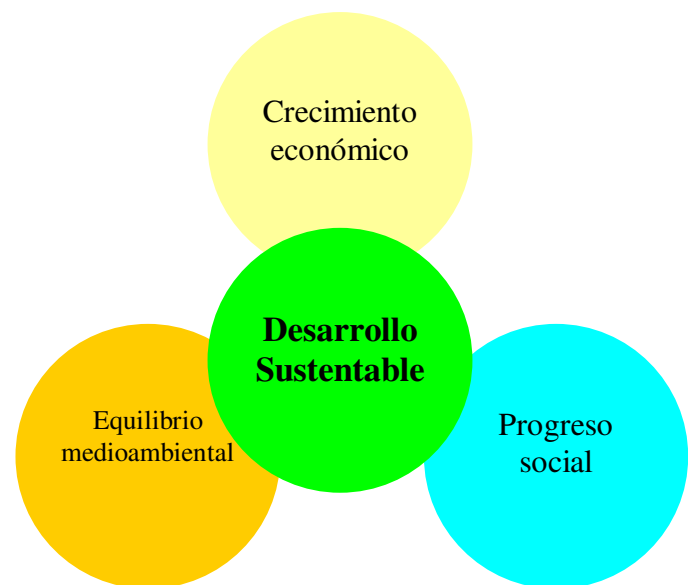
6.2.3. El desarrollo sustentable, una posible solución

Una de las posibles soluciones a estos graves problemas es el desarrollo de un nuevo concepto que tanto el sector industrial, el gobierno y la sociedad en su conjunto tendrían que adoptar, el desarrollo sustentable. La Comisión Mundial para el Desarrollo del Medio Ambiente de 1987 (Comisión Brundland) define al desarrollo sustentable de la siguiente manera:

forma: “*el desarrollo sustentable es aquel que satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades*”.

El desarrollo sustentable es visto como una oportunidad para una sociedad justa que permitirá una mayor calidad de vida para nosotros, nuestros hijos y futuras generaciones. Para conseguirlo es necesario que el crecimiento económico apoye al progreso social y al medio ambiente.

Figura 3. Elementos relacionados al desarrollo sustentable



Fuente: Propuesta de la Unión Europea para un desarrollo sostenible, COM (2001)264.

6.3. Contaminación Ambiental en México

El deterioro ambiental se atribuye por lo general al desarrollo económico; si bien las decisiones y acciones implantadas por los seres humanos las que son el fenómeno. La cultura de convivencia armónica con la naturaleza requiere una gran determinación, como punto de partida hacia nuevos estilos de vida.

⁹ Propuesta de la Unión Europea para un desarrollo sostenible, COM(2001)264.

permitan asentar los niveles de vida de la población, no por periodos cortos, sino de manera sustentable¹⁰.

México contribuye con el 2% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Como parte de los países en desarrollo, México no ha adquirido responsabilidades internacionales para disminuir emisiones como es el caso de la mayoría de los países industrializados inscritos en el Anexo 1 de la Convención Marco de Cambio Climático Global de las Naciones Unidas (CMCCG). A pesar de que México tiene una posición comprometida que la mayoría de los países en desarrollo o de economías en transición encuentra bajo una importante presión internacional, para adquirir compromisos en materia de límite de las emisiones de gases efecto invernadero (Sheinbaum, 1998).

En 1995 se crea uno de los centros que más esfuerzos realiza para mitigar la contaminación, el Centro Mexicano para la Producción más Limpia (CMPL). El CMPL desarrolla proyectos de demostración en las empresas, entrena profesionales y personal técnico de la industria, proporciona asesoría en política ambiental y apoya la difusión de información en producción más limpia a través de publicaciones técnicas.

La producción más limpia se define como la aplicación continua de una estrategia ambiental, preventiva e integrada a los procesos y productos para reducir el riesgo a la salud de los seres humanos y al ambiente. En lo que se refiere a los procesos, la producción más limpia incluye la conservación y racionalización del uso de los materiales y la energía, la eliminación de materiales de proceso que sean tóxicos, la reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y residuos antes de que estos abandonen el proceso de producción (Román, 1998).

¹⁰ Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006. Presidencia de la República.

6.4. Emisiones Contaminantes Presentes en la Elaboración del Cemento

Dentro de la industria del cemento, se presentan varias formas y maneras de emitir contaminantes, entre las que destacan¹¹:

- a) Impactos en la *calidad del aire* de zonas inmediatas a las distintas fuentes de emisión. Se han determinado dos tipos de fuentes de emisiones contaminantes al medioambiente, las cuales son: fuentes fijas (chimeneas de los hornos rotatorios) y fuentes difusas (tránsito, movimiento de materiales).
- b) El *ruido* se genera en varias fuentes, las que en conjunto producen niveles de considerable magnitud. Entre las fuentes generadoras de ruido destacan los molinos, bombas, y compresoras.
- c) Los *desechos sólidos* de una planta cementera incluyen residuos domésticos y de oficinas.

Ahora se conoce que la protección al medio ambiente, dentro de una planta cualquiera, representa beneficios no solo de tipo social (con la mitigación de impactos debidos a las fuentes contaminantes antes mencionadas), sino que la puesta en marcha de las medidas ambientales, puede significar adicionalmente un ahorro en insumos de energía, agua y materia prima. Con lo que se tiene un uso más eficiente de los recursos en el proceso de producción y en ocasiones éste efecto se puede reflejar en menor costo de producción.

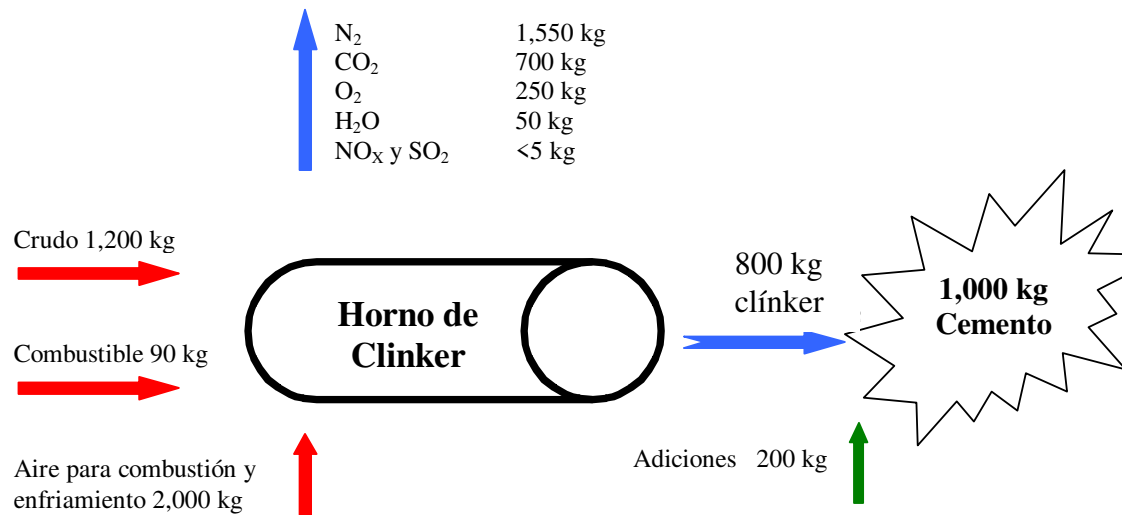
El primer agente contaminador percibido por los vecinos de las plantas de cemento es el polvo, ya que su emisión no siempre se controla perfectamente. El segundo agente es el ruido, especialmente si la planta se encuentra cerca de zonas habitadas. Otro impacto visual que las plantas producen en el paisaje. Sin embargo, los principales contaminantes son los que producen otros efectos, entre ellos están: la emisión de gases de combustión (NO_x, SO_x, CO_x, etc) debida al proceso de combustión del clínker.

¹¹ Información tomada de: Propuesta de Límites de Contaminantes Máximos Permisibles, Subsector de Cemento (Ministerio de Energía y Minas, 2001; Subsector de Lima, Perú 2001).

del material; la contaminación indirecta debida al consumo de energía (siempre que necesita energía, se debe generar y este proceso produce algún tipo de contaminación como por ejemplo las emisiones de CO₂ y SO_x en las centrales eléctricas); la emisión de CO₂ debida a la transformación de CO₃ Ca en Ca O + CO₂ (Ecotrade, 2000).

Dado que la elaboración del cemento es un proceso industrial muy intensivo en consumo de recursos y normalmente se manejan volúmenes en toneladas para describir las proporciones en ella, también los residuos contaminantes se pueden medir en toneladas. En la continuación se presenta un balance de masa aproximado¹² para la elaboración de una tonelada de cemento.

Figura 4. Balance de masa para la producción de una tonelada de cemento



Fuente: Revista Cemento Hormigón No. 832, enero 2002

Como se puede observar del diagrama, existen tres entradas al horno de clínker: crudo, combustible y aire. Y existen dos salidas de materia: clínker y productos de la combustión.

El producto obtenido del horno (800 kg de clínker) representa, aproximadamente el 25% del total de masa que entra (3,290 kg de crudo, combustible y aire). Los principales

¹² Fuente: Revista Cemento Hormigón No. 832, enero 2002, pp 46.

contaminantes (705 kg de CO₂, NO_x y SO₂) representan el 21% del total de
por lo que es de consideración la cantidad de contaminantes que se generan
calcinación e incineración.

6.5. El Marco Institucional de la Gestión Ambiental de la Industria Cementera

En la industria de elaboración del cemento en México, se presentan dos principales lineamientos normativos en cuanto al aspecto ambiental¹³:

1. Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas, como los requisitos de control de emisiones fugitivas, provenientes de las fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento (NOM-O40-ECOL-1993).
2. Uso de residuos peligrosos como combustible alternativo en hornos cementeros (Norma Voluntaria, marzo del 2000).

En cuanto al primer lineamiento, este se encarga de regular la emisión de las partículas sólidas a la atmósfera que son emitidas desde alguna fuente fija y muy específicamente en la elaboración del cemento. En este sentido, las plantas cementeras deben acatar lo dispuesto por la legislación ya que en ella se estipula una sanción a quienes rebasen los límites estipulados.

Según la Secretaría del Medio Ambiente, las fuentes fijas más importantes son las siguientes:

- Procesos de combustión, tanto doméstica como industrial.
- Evaporación de contaminantes, como las gasolinas.
- Generados por la industria química.
- Contaminantes orgánicos: olores y humos.
- Fundidoras y cementeras: gases y metales tóxicos.
- Diversas fuentes como tortillerías, panificadoras e hidroeléctricas.

¹³ Los detalles de la Norma Oficial Mexicana, se presentan en el anexo 2 de este trabajo.

Los cementeros buscan a toda costa cumplir con lo establecido por la legislación, por ello han puesto especial interés en implementar prácticas y aplicar tecnologías que logren reducir las emisiones de tal forma que no rebase lo permitido por la normativa.

Claro está que la normatividad ha influido de manera importante en las soluciones ambientales no solo en la industria del cemento, sino en todas las actividades productivas. La tecnología se ha visto influida de manera indirecta por la presión de instrumentos normativos.

En la industria del cemento se puede apreciar la existencia de prácticas que necesariamente son de origen formal, es decir, existen acuerdos entre los cementeros para cumplir con ciertos puntos que la parte institucional no ha podido plasmar en un decreto oficial o bien no es del todo específico. Tal es el caso del segundo lineamiento que permite el uso de los residuos peligrosos como combustible alternativo.

El 27 de marzo de 2000 se puso de manifiesto que las plantas cementeras constituyen una industria moderna, con infraestructura distribuida en todo el territorio nacional, lo cual facilita que se conviertan en una alternativa regional para la disposición adecuada de un importante volumen de residuos generados en otros sectores que, las industrias: Cementos Apasco, Cementos Mexicanos y subsidiarias, Cementos de Chihuahua, Cementos Pórtland Moctezuma, Cemento Pórtland México y Cooperativa Cruz Azul, firman un acuerdo voluntario que establece condiciones particulares para facilitar el aprovechamiento de los residuos en sus hornos dentro del marco normativo vigente, mismo que regula los procedimientos para la disposición, confinamiento, manejo y uso de combustibles alternos, incluyendo sus emisiones permitidas a la atmósfera.

Dicho acuerdo voluntario es aplicable en todo el territorio nacional para aquellas cementeras que califiquen para incorporarse en el programa de reducción de emisiones de combustibles y materiales sustitutos. Todas las plantas que deseen utilizar combustibles alternos en sus hornos deberán dar cumplimiento, además de esta Norma V

Reglamentos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Materia de Residuos Peligrosos, de Impacto Ambiental, de Prevención y Control de Contaminación de la Atmósfera, así como a las Normas Oficiales Mexicanas aplicables.

El acuerdo contempla que la autorización para el uso de residuos como combustible alternativo será otorgada por el Instituto Nacional de Ecología, que requerirá de cada planta un protocolo de pruebas que deberá demostrar la eficiencia del equipo de calcinación, como el control de las emisiones del horno cementero. Asimismo, el Instituto podrá solicitar cuando así lo requiera a las plantas su bitácora de operación, que deberá contener el tipo y cantidad de combustibles alternos y tradicionales utilizados.

Mientras que para la industria cementera nacional ya es una realidad la quema de combustibles alternos, la parte institucional aún se encuentra en una fase de rezago, por lo que los propios cementeros tienen que idear mecanismos “voluntarios” que representan una forma de sugerencia al sector gobierno para que se contemple la normatividad en ésta área. Sin embargo, el acuerdo voluntario no necesariamente implica la participación del grupo de los cementeros, pero ello no impide que los que están al margen, también puedan tener acceso al conocimiento de las mejoras tecnológicas involucradas en ello.

Con esto se evidencia que en cuanto a normatividad, la industria de elaboración de cemento en México, se encuentra un paso delante de su contraparte institucional, ya que la primera, le conviene mantener una posición estratégica que le otorga beneficios económicos y de prestigio ante una sociedad que día a día exige reglas claras para la emisión de contaminantes.

Por lo tanto se puede afirmar que el aspecto institucional es una variable que influye de manera importante en la evolución tecnológica de la industria cementera, puesto que contiene implícito la presión que ejerce la sociedad sobre el sector industrial. Para la industria no es difícil cumplir con la normatividad puesto que las tecnologías relacionadas con la emisión de contaminantes, también se encuentra influenciada por algunos otros

motivadores que coadyuvan a hacerla caer dentro de los límites que le son e la normatividad institucional.

De acuerdo a la información que publica la Secretaría de Hacienda, en Mé depreciación se determina en función del tipo de activo y de la actividad que es utilizado. Por ejemplo, la ley de impuestos sobre la renta permite ritmo anual de:

- 10 % la maquinaria y equipo utilizado en la producción y distribución eléctrica.
- 5 % para los bienes de capital destinados a la producción de alimentos comestible.
- 7 % en la industria del papel, petróleo y gas natural.
- 9 % para el ramo químico y petroquímico, curtido y fabricación de piel.

Los bienes de activo fijo empleados por diversas tipos de empresas en e actividades se deprecian según la clase de bien. La depreciación anual p ellos es:

- 5 % los edificios y construcciones.
- 10 % el mobiliario y el equipo de oficina.
- 100 % los equipos destinados a prevenir y controlar la contaminación la conversión a uso de gas natural.

Sobre los equipos anticontaminantes cabe destacar que la tasa de depreciación aumentado fuertemente como incentivo para la adquisición de dichos sistemas los industriales. Hasta septiembre de 1993 la tasa era de 35% anual, luego posteriormente se permitió la depreciación en un solo año.

Por otra parte, las leyes fiscales mexicanas permiten amortizar los gastos preoperativos (antes de que la planta comience a trabajar) a 10 años, en tanto que las erogaciones de asistencia técnica y transferencia de tecnología se hace al 15 %.

Para el empresario es mucho mejor contar con una depreciación acelerada ya que incentiva la inversión en esa actividad específica. Es decir, se deja de pagar, a Hacienda, el impuesto sobre los activos en ese año en particular, cosa que el empresario ve con buenos ojos puesto que lo no pagado a Hacienda, lo puede utilizar en algunos otros fines que le son más rentables. De esta forma, la Secretaría de Hacienda atinadamente ha otorgado un incentivo que los empresarios visionarios, han sabido aprovechar en pro de aumentar sus beneficios económicos, tomando como punto de apoyo el aspecto ambiental.

7. DESEMPEÑO ECONÓMICO Y AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

7.1. Antecedentes

Dentro de este capítulo, el lector podrá ubicar dos aspectos importantes de la elaboración del cemento, por un lado se pretende fotografiar cuál ha sido el desempeño económico de la industria mexicana en las últimas fechas; y por otro lado identificar cómo ha impactado económicamente el desempeño ambiental de la

El sentido común nos indica que la parte ambiental va de la mano con la parte económica de cualquier industria. Si no existen recursos, normalmente no podrá realizarse acciones que mejoren la situación ambiental y si no realiza acciones para mejorar la situación ambiental, quizá está incurriendo en mayores costos, presentando un balance económico negativo.

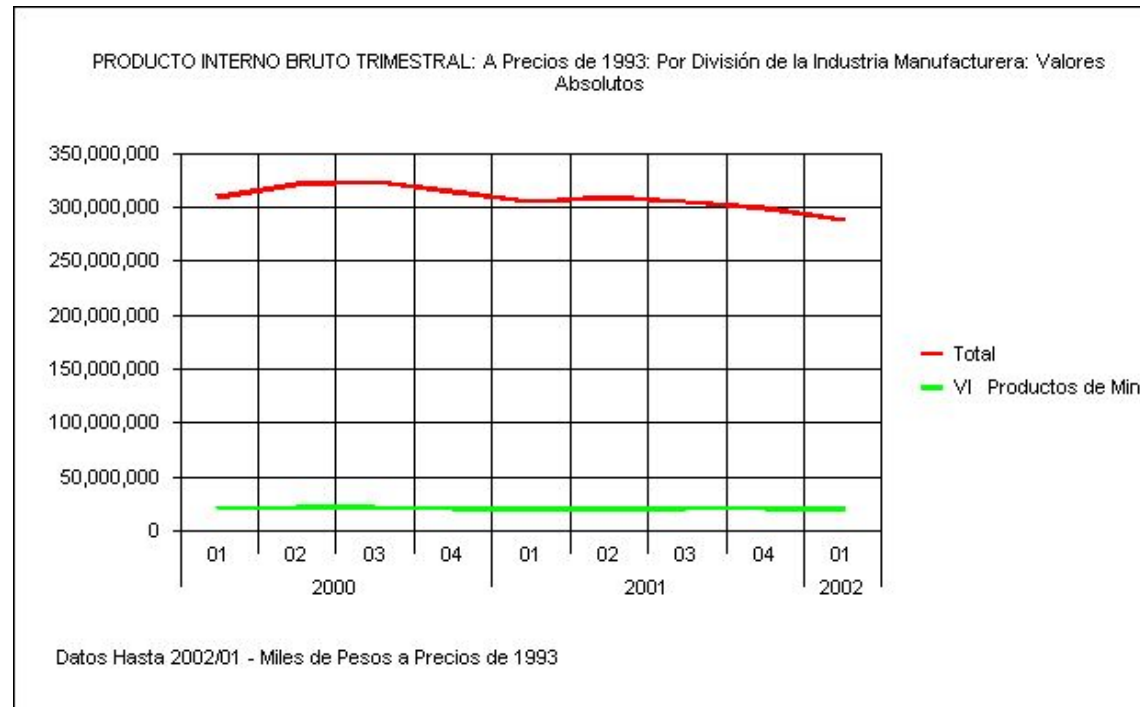
El objetivo de este capítulo es presentar la relación que guarda el desempeño ambiental con el desempeño económico de la industria. Se presenta la información necesaria para comprender la importancia económica que puede representar el desempeño ambiental dentro de la industria de elaboración de cemento en México.

7.2. Desempeño Económico de la Industria

En la actividad económica de nuestro país, la industria manufacturera ha tomado un papel importante en últimas fechas y ha sido uno de los fenómenos más estudiados por los interesados en las cuestiones económicas, laborales, tecnológicas, ambientales, de organización industrial y algunas otras ramas del conocimiento social.

Dentro de la industria manufacturera, encontramos la producción de minerales metálicos, en los cuales se encuentra la elaboración del cemento. Este rubro representa 6.5 % del PIB total de la industria manufacturera. Como se puede apreciar en la gráfica elaborada por el INEGI, esta industria representa una parte importante de la actividad económica de la manufactura.

Gráfica 8. PIB de la industria de minerales no metálicos en México

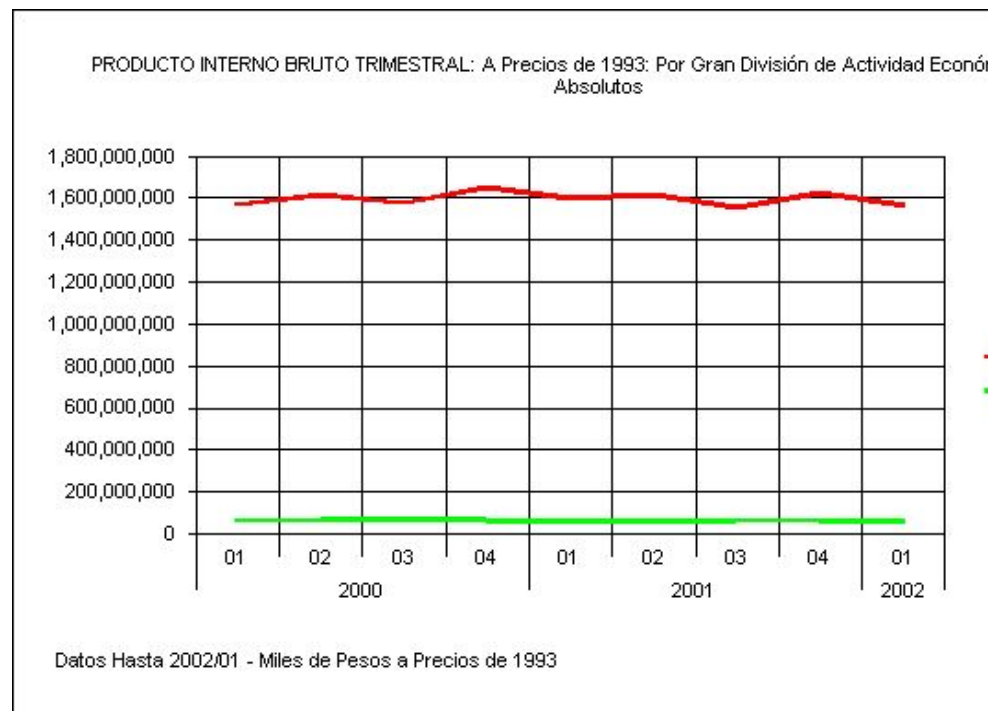


Fuente: INEGI, 2002

Por otro lado, la industria del cemento es la principal proveedora de otra de las grandes e importantes industrias dentro de la actividad económica: la industria de la construcción. En una entrevista realizada al señor Carlos Gutiérrez Camarena, director administrativo de la Cámara Nacional de la Industria del Cemento (CANACEM), comenta que la industria de la construcción genera una cantidad importante de empleos y que alrededor de un millón de trabajadores mexicanos se ven beneficiados con el desarrollo de esta industria. Además, genera una cascada de empleos indirectos de gente que participa paralelamente con la industria como son herreros, carpinteros, pintores y manufactureros de insumos relacionados, entre otros.

La rama de la construcción representa el 3.8 % del PIB total generado por...
 En la gráfica elaborada por el INEGI, se puede ver la proporción que guarda...
 el generado por la industria da la construcción.

Gráfica 9. PIB de la industria de la construcción en México

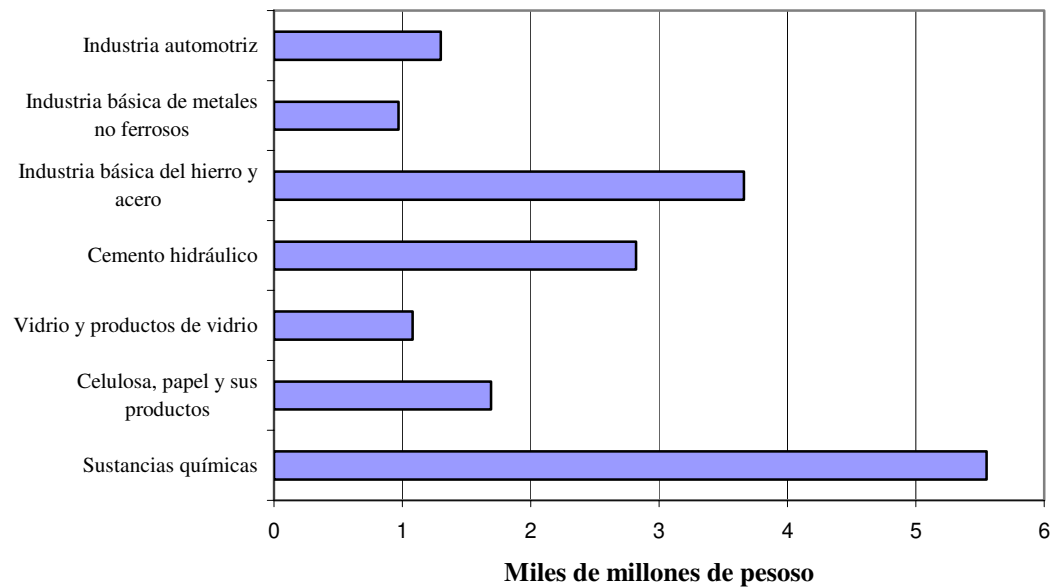


Fuente: INEGI, 2002

La industria del cemento es la principal proveedora de la industria de la construcción en prácticamente todo lugar que uno visite dentro de una ciudad, por pequeño que sea. Encontramos concreto: en las carreteras, en las calles, en las casas, en escuelas, en postes de distribución de energía eléctrica, estacionamientos, banquetas, y en muchos lugares en donde la industria de la construcción, y por ende la del cemento, tiene presencia. En el campo, la presencia de la industria de la construcción se ve en proyectos de presas para riego, lugares para concentrar ganado y caminos pavimentados de éste tipo de productos.

Por otro lado, en el gráfico 10, se presenta el consumo energético trasladado a pesos por algunas ramas de la actividad industrial. La industria de elaboración de cemento ocupa el tercer lugar con 2.82 mil millones de pesos solo superada por la industria química y la industria del hierro y acero.

Gráfica 10. Consumo energético en México en 1997



Fuente: INEGI, 2002

Esta información nos conduce a un hecho bastante interesante. La industria de elaboración de cemento tiene un elevado costo por concepto de energéticos y por lo tanto su desempeño económico está íntimamente ligado con el desempeño energético de la misma. Una reducción significativa en el uso de los energéticos repercutirá en la reducción de los costos de operación de las empresas cementeras. Pero ¿qué tanto pagan los cementeros por ese consumo de energéticos?

A lo largo de la historia de la humanidad, se han presentado cambios en la cantidad y forma del uso de las tecnologías que le han permitido desarrollar las diversas formas de producción de bienes o servicios. La tecnología ha jugado, juega y seguirá jugando un papel crucial en dicho fin.

Para la industria de elaboración de cemento en México, el INEGI informa costos por consumo de energía eléctrica y combustibles, como se describen en la siguiente tabla:

Tabla 4 Costos por consumo de energía eléctrica y combustibles

Consumo (miles de pesos)	1995			1997	
	cemento	Total IM	% ¹⁴	cemento	Total
Energía eléctrica	452,514	6,844,545	6.6	920,671	13,303,3
Combustibles	869,730	7,106,619	12.25	1,908,379	13,818,5

Fuente INEGI, 1998.

Como se aprecia en la tabla, la industria cementera paga una alta cuota por energéticos en comparación con el total que consume la industria nacional. La cementera paga el 13 %, del total de las industrias, por consumo de energéticos. Del 7 % de lo que se paga por consumo de energía eléctrica, la paga la industria de cemento. Para éste estudio, el dato más relevante es el de los energéticos y se hace notoria la contaminación ambiental de la industria.

Uno de los puntos no menos importantes a analizar es el costo de degradación ambiental que se genera por la actividad de la industria cementera. Se ha encargado de hacer un estimado económico de los costos en que se incurriría por los recursos y degradar el medio ambiente, al mismo tiempo ha elaborado información por concepto de protección al ambiente en las diferentes actividades industriales. Esta información se encuentra plasmada en la tabla 5.

¹⁴ Es el porcentaje que representan los costos para la industria cementera en relación a las industrias a nivel nacional reportadas por el INEGI.

Tabla 5. Comparación por sectores entre el costo por agotamiento y degradación ambiental y los gastos de protección ambiental entre 1993 y 1998 (Millones de pesos)

Sectores	Costos por agotamiento y degradación ambiental		Protección ambiental			
			Gastos corrientes		Gastos de capital	
	1993	1998	1993	1998	1993	1998
Agricultura	3,237.3	4,349.2	---	---	---	---
Ganadería	11,444.2	26,028.6	---	---	---	---
Silvicultura	1,857.8	3,627.1	26.0	53.1	2.5	4.0
Caza y pesca	0.0	0.0	---	---	---	---
Petróleo	6,391.5	17,158.1	991.1	2,359.3	132.8	44.0
Minería	0.0	0.0	---	---	---	---
Manufactura	4,496.2	14,054.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Electricidad, gas y agua	4,508.9	17,776.3	115.8	145.2	12.3	12.3
<i>Cemento</i>	222.7	123.5	---	---	---	---
Comercio, restaurantes y hoteles	0.0	---	---	---	---	---
Transporte, alimentación y comunicaciones	81,785.2	258,012.0	---	---	---	---
Otros servicios	244.7	701.7	46.0	136.7	4.9	2.0
Servicios gubernamentales	201.0	203.7	---	---	---	---
Actividades de producción de hogares	20,442.9	66,444.3	2,946.2	3,665.6	1,216.5	1,816.5
TOTAL	134,933.5	408,478.5	4,125.1	6,345.9	1,368.9	2,216.5

Fuente INEGI, 1998.

Si fijamos la atención en la industria que se está analizando, podremos advertir que es de las industrias que menor participación tiene en cuanto a costos de agotamiento y degradación ambiental, es cierto, la superan por mucho la industria del transporte, alimentación y comunicaciones (claro no hay que perder de vista que están agregando los costos de varios sectores y que sería interesante ver su participación individual) o la de actividades de producción de hogares.

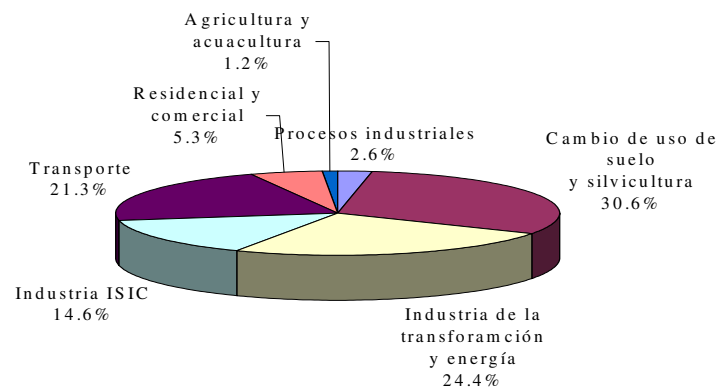
Pero lo importante y que llama la atención es que es la única industria que presenta una reducción del 55.5 % en los costos por agotamiento y degradación del ambiente entre 1993 y 1998, cosa que no ocurre con ninguna otra industria, por el contrario todas ellas tienden a incrementar dichos costos.

A pesar que no se tienen datos de costos por concepto de protección al ambiente, se supone que algo está ocurriendo al interior de esta industria que le ha generado un costo que implica el deterioro ambiental.

7.3. Desempeño Ambiental de la Industria

La industria de elaboración de cemento se contempla dentro de lo que llaman Clasificación Internacional del Sector Industrial (ISIC), el cual contempla la producción de cemento y metalúrgica. En la gráfica se puede ver la cantidad de contaminación por bióxido de carbono que se presenta en el año de 1990. La ISIC generaba el 14.6 % de las emisiones totales, superado por el sector transporte (21.3 %). Es decir, en México, la ISIC genera aproximadamente la séptima parte de emisiones de bióxido de carbono a la atmósfera.

Gráfica 11. Generación de bióxido de carbono en México en 1990



Fuente INEGI, 1990

Como ya se ha mencionado, el desempeño ambiental de la industria cementera en México no es precisamente el mejor dentro de las industrias de manufactura. Esta gráfica ratifica dicha información.

Ahora observemos en conjunto los desempeños económico y ambiental. Cuando se mejora el desempeño ambiental, se estará mejorando el desempeño económico de las empresas cementeras, dado que el uso de energéticos representa el principal desembolso en el proceso de elaboración de cemento y a la vez, el uso de los energéticos es la fuente de las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Según datos de la Cámara Nacional del Cemento, el 15 % de la inversión en una planta cementera, está destinada a la mitigación de emisión de contaminantes a la atmósfera.

8. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CEMENTO

En forma general se puede resumir que las principales etapas en la elaboración del cemento son (Ramos, J. 1988 y Neville, A. 1999):

1. Obtención de materias primas,
2. Preparación de materias primas,
3. Producción de clínker
4. Molienda del clínker con yeso y en ocasiones con extensores puzolánicos para la obtención del cemento.

El proceso de elaboración del cemento comienza con la llegada de las materias primas (carbonato de calcio, óxido de hierro, óxido de silicio y óxido de magnesio). La parte de la roca (arcilla y material calcáreo) se transporta en camiones desde la mina hasta los trituradores giratorios o de mandíbulas donde se tritura y luego se tritura más para reducirse a un tamaño más pequeño en un triturador de cono o molinos de molienda.

Los dos principales procesos que se utilizan en la fabricación de cemento son el proceso húmedo y seco. En el proceso húmedo las materias primas son trituradas en la proporción adecuada, haciéndose una masa con agua, se mezcla completamente y se alimenta al horno para producir la pasta. Tiene una humedad entre 24-28%. En el proceso seco las materias primas son trituradas y mezcladas, alimentándose al horno en estado seco. La pasta de cemento pulverizada tiene una humedad entre 0 - 7%.

La molienda media se realiza en dos tipos de molinos: de bolas y de barras. Los molinos de bolas y de barras son tambores rotatorios horizontales con recubrimiento de aleaciones de acero.

de diámetro de entre 8 y 18 pies y cuya longitud varía de 10 a 73 pies, con motores potencia que van de 300 a 8,700 hp¹⁵.

Los molinos de bolas se cargan al 45% de su volumen con bolas de acero de 5 pulg. de diámetro. Las materias primas se reducen de tamaño por impacto y frotamiento en molienda media con movimientos de cascada debido a la rotación del molino, que va en orden de 15 a 18 rpm¹⁶.

En la molienda del proceso húmedo, el agua se agrega al molino para producir la pasta que contiene alrededor de 65 % de sólidos.

Para el proceso en seco, la materia prima es secada normalmente, en secadores rotatorios. Para este proceso en la molienda se utilizan molinos de bolas o de barras, el material se seca durante la pulverización, utilizando el calor rechazado por los hornos.

La calcinación es la operación más importante en la fabricación del cemento debido a:

1. El consumo de combustible como principal gasto en el proceso,
2. La capacidad de la planta que se mide por el rendimiento del horno,
3. La consistencia y otras propiedades del cemento que dependen del clima en el que se produce.

Se estima que entre el 30 y 40 % de los costos de fabricación se destinan a los energéticos, tanto combustibles como el consumo de energía eléctrica¹⁷. El rendimiento del horno se estima obteniendo la relación que existe entre el consumo específico teórico (aproximadamente de 420 kcal/kg de clínker) entre la cantidad que se está empleando realmente, por lo que si el horno se encuentra lo más cercano posible a las 420 kcal/kg de clínker, se tendrá una mejor eficiencia.

¹⁵ hp: caballos de fuerza. Es una medida de potencia.

¹⁶ rpm: revoluciones por minuto. Es una forma de medir la velocidad de giro.

¹⁷ Tomado de la página: oficemen.com

¹⁸ Tomado del libro Cemento, fabricación, propiedades y aplicaciones; 1973.

En esta industria se utilizan dos tipos de hornos. Hornos verticales (se estiman el 25% de la producción mundial) y hornos rotatorios (el resto).

Los hornos rotatorios son formados por un cilindro de acero corrugado refractario que gira alrededor de un eje inclinado de $\frac{3}{8}$ a $\frac{1}{2}$ pulg. por pie. Pueden tener tamaños desde 100 pies (1.8 – 3 m) de diámetro y 120 - 760 pies (37 – 230 m) de longitud. La velocidad de rotación fluctúa de 50 a 90 rph.

Los hornos rotatorios son empleados tanto en el proceso seco como húmedo. En el proceso húmedo, la mezcla, el polvo seco o la pasta entran en la parte superior del horno y son llevados al interior de este, gracias a que se encuentra en una posición inclinada. Al final del mecanismo de rotación se descarga al final de este.

En el proceso húmedo, la temperatura de los gases de salida es alrededor de 300 °C (570 a 370 °C) y la humedad de la pasta se evapora en un intercambiador de calor.

El siguiente paso se efectúa en la zona de temperatura superior a 1,800 °F (1,000 °C). En esta zona los álcalis vaporizados se lleva a cabo la combustión de algunos materiales y la calcinación del carbonato de calcio a óxido de calcio (CaO).

La formación del clínker se lleva a cabo en la zona de combustión, con temperaturas cercanas a los 2,700 °F (1,500 °C), la presencia de óxido de hierro reduce la temperatura requerida para formar el clínker.

Durante este proceso se hace uso de diversas etapas en las cuales se pueden utilizar los respectivos sistemas involucrados en la elaboración del cemento.

- Sistemas de precalentadores de suspensión. Estos sistemas son iguales a los hornos rotatorios en donde el polvo alimentado fluye libremente. El calentamiento inicial toma lugar en una unidad fija compuesta generalmente por un precalentador de suspensión.

5 ciclones en serie. La alimentación se lleva a cabo en la parte superior y gradualmente se mueve a través de los ciclones hasta el horno rotatorio. Los gases calientes a la salida del horno se mueven en dirección opuesta y con gran turbulencia produciendo una acción de mezclado entre la alimentación y los gases, eficientemente empleados en el intercambiador de calor, suficiente para causar el 40-50% de la calcinación del crudo alimentado en el periodo en el que entra en el horno rotatorio. Así el horno se reduce a la longitud del horno seco de producción equivalente.

Esta calcinación previa a la entrada del horno hace que la permanencia de la alimentación en él se reduzca, lo que conlleva a un incremento de la productividad del horno. En los últimos años se instalaron más de 500 precalentadores en todo el mundo.

- Los sistemas de precalentadores han mejorado la economía del combustible, sin embargo, existe una desventaja, ciertas impurezas de los álcalis metálicos se vaporizan en el horno y se mezclan normalmente con los gases de salida y por tanto con el crudo molido. Como son precalentadas, se recirculan con los gases del horno, es decir, se establece un ciclo álcali que provoca que el clínker se enriquezca demasiado con grandes cantidades del álcali y cause problemas sobre todo de agrietamiento en la estructura del concreto. Para evitar este problema de elevación del contenido de álcali, los precalentadores en suspensión incorporan sistemas de regulación. Se considera un contenido alto de álcalis cuando los gases contienen el 5-10% de ellos. Los sistemas de regulación tienen por objeto eliminar los álcalis de los gases, no obstante, esto representa un consumo mayor de energía, ya que purificar un 10% de gas en el sistema de regulación representa un consumo extra de calor del orden de 60 kcal/kg de clínker.
- Sistemas de precalcación o sistemas de calcinación secundaria. La llegada de los equipos precalentadores, ya sea, de parrilla o suspensión, han permitido el desarrollo de precalcación o la ionización del combustible. Los sistemas

precalcinadores tienen una base común: el grado de calcinación del crudo a la entrada del horno rotatorio, el cual, se incrementa por la demanda de 2 a 3 partes del combustible total empleado en el precalcinador, que es parte del precalentador de suspensión o parrilla.

En un sistema de precalentadores normales, el 50% de calor transferido al crudo molido una descarbonatación del 20 al 30% antes de entrar al horno. Al aumentar la precalcinación, la descarbonatación se incrementa de un 20% a un 30% lo que da como resultado una alta capacidad del horno. Esto también reduce las dimensiones del horno, ya que este aumento de la precalcinación puede provocar uso de hornos de volumen 50% menor. Otras ventajas de la precalcinación son: mejora la vida del ladrillo de revestimiento del horno, reduce el aumento de los álcalis y los sulfatos, mejora el control y estabilidad del proceso, hace más eficiente la regulación de los álcalis y reduce las emisiones de polvo.

- Enfriadores para el clínker. La temperatura del clínker al salir del horno se reduce con un enfriador. El enfriador tiene un doble propósito: disminuir la temperatura del clínker y recuperar el calor de éste, para ocuparlo nuevamente en la combustión dentro del horno.
- Los gases de salida del horno pasan a través de precipitadores electrostáticos o colectores “glassbag”, para coleccionar las partículas de polvo. La colección de polvo se regresa a la alimentación del horno, cerca del quemador, a menos que el contenido de álcalis sea muy alto.
- Molienda del clínker. Finalmente el clínker se muele con yeso, puzos, cenizas finas, escorias, etc., según el tipo de cemento que se quiera producir.

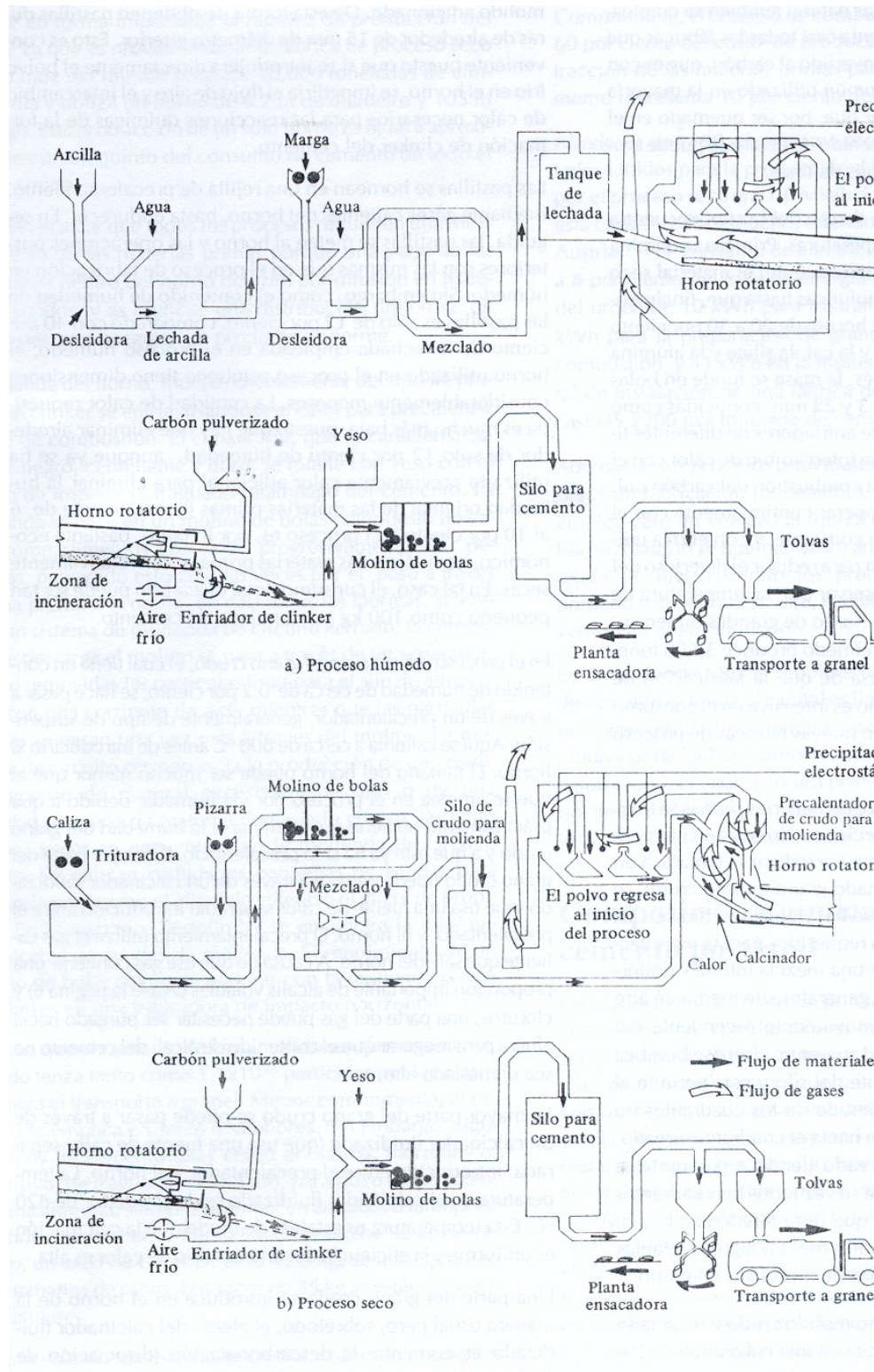
En la figura 5, se muestra el diagrama de elaboración del cemento mediante el proceso húmedo (diagrama a) y mediante el proceso seco (diagrama b). Este diagrama muestra un horno que utiliza carbón, para el uso de otro combustible el proceso es el mismo.

la alimentación no es de carbón pulverizado sino de su correspondiente combustible en condiciones requeridas.

Para los fines de este trabajo, es conveniente centrar nuestra atención en la etapa de calcinación en donde será enfocado el trabajo de investigación y a la cual le dedicaré los capítulos cruciales del trabajo.

Figura 5. Representación esquemática del proceso de elaboración de cemento

a) Proceso húmedo, b) Proceso seco.



Fuente: IMCyC

9. TRAYECTORIAS TECNOLÓGICAS EN LA ETAPA DE CALCINACIÓN

9.1. Antecedentes

El tema de investigación desarrollado, se puede abordar desde varios puntos de vista en un sentido tecnológico-ambiental. Es decir, las principales fuentes de contaminación del proceso de elaboración de cemento, se localizan dentro de la etapa de producción de clínker y por tal razón, el análisis tecnológico será enfocado en esta parte del proceso.

Por una parte, la trayectoria tecnológica se puede caracterizar desde el punto de vista *estricto de la combustión o quema del combustible* que es finalmente la reducción de la generación de gases contaminantes a la atmósfera y por lo tanto se puede hablar de la evolución tecnológica en dicha dirección.

Una segunda alternativa es caracterizar la trayectoria tecnológica desde el punto de vista *de los insumos* utilizados en la etapa de calcinación, etapa en la cual se emplea una gran cantidad de combustibles para la elaboración del cemento. Caracterizar esta trayectoria tecnológica, puede ser de mucha utilidad puesto que los energéticos y sus usos involucran indirectamente una gama de tecnologías secundarias que, por sí mismas, ofrecen un panorama más amplio del uso (o abuso, según se quiera ver) de los recursos energéticos y la posibilidad de reducir el mismo. El ejemplo más claro de las tecnologías secundarias que se abarcarían son las empleadas en las formas y maneras de intercambiar el combustible entre una etapa del proceso a otra etapa del mismo.

Una tercera opción que se puede plantear, es caracterizar las trayectorias tecnológicas desde el *punto de vista del desarrollo sustentable*, es decir la integración de tecnologías y esquemas que satisfagan las necesidades actuales de la industria del cemento.

ponga en riesgo la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer esas mismas necesidades. Abarca no solo la parte correctiva, sino también la preventiva. No solo contempla el cómo reducir las emisiones ya generadas en el proceso, además centra la atención en el cómo se puede evitar generar la contaminación, en este caso, en el proceso de elaboración del cemento.

Para los fines de este trabajo, el tercer punto de vista es el que se tomará para caracterizar las trayectorias tecnológicas de la industria del cemento debido a que cubre un abanico más amplio de posibles trayectorias tecnológicas; de hecho éste involucra a los dos primeros puntos de vista.

Caracterizar las trayectorias tecnológicas desde la perspectiva de sustentabilidad, permite analizar uno de los patrones tecnológicos en los cuales no se da mucho peso y sin embargo representa una herramienta auxiliar sumamente importante para llevar a cabo acciones que se presume, son en pro del cuidado ambiental: los sistemas de recuperación de polvos que no forman parte directa de la etapa de calcinación.

En concreto, este apartado está destinado a caracterizar las trayectorias tecnológicas, en la elaboración del cemento, involucradas con el aparente cuidado del medio ambiente, las cuales son:

- Combustión (hornos y quemadores).
- Intercambio de calor (precalentadores, precalcinadores y material refractario¹⁹).
- Uso de energéticos
- Recuperación de polvos.

Ha llegado el momento de caracterizar cada una de las trayectorias que arriba se describen y que en los próximos párrafos serán expresadas para obtenerles el mayor jugo posible y hacer las aportaciones pertinentes a este trabajo de investigación. Puesto que el objetivo

presentar una descripción que resulte amena al lector y no aburrida, en e presenta un breve resumen de los hallazgos realizados a lo largo de la in información detallada se localiza en el Anexo 1, al final del trabajo.

9.2. Trayectoria Tecnológica de la Combustión

La tecnología que permite la combustión no se puede limitar solo al artefacto flama, sino que se debe ir más allá. La combustión se da mediante ciertas características que permiten al combustible y al oxígeno reaccionar y desp dicha reacción. La combustión se efectúa dentro de los dispositivos destina realiza mediante un dosificador de combustible denominado quemador. N analizarán por separado las dos tecnológicas necesarias para que se pu combustión que permitirá producir clínker, hornos de calcinación y quemado

La evolución tecnológica de los *hornos de calcinación* se ha visto af momentos importantes:

1. El surgimiento de los hornos rotatorios cuyo origen no es del to marcó un gran salto en el tipo de hornos utilizados para la elaboración
2. El surgimiento del precalcinador cuyo origen se describe con mayor de las próximas secciones.
3. La crisis de los energéticos que impulsa a la mejora de materiales y de calor.

La evolución de la tecnología de *quemadores*, no se puede describir fácil dada la naturaleza y tipo de combustible que se emplea en las diversas plan Sin embargo si se puede afirmar que dicha evolución ha sido de forma crec principal innovación realizada es el surgimiento del quemador dual, es de combustibles en un mismo quemador.

¹⁹ El material refractario es una cama de ladrillos resistentes a la transferencia de calor, que envuel

9.3. Trayectoria Tecnológica del Intercambio de Calor

La primera implementación de un horno con ciclón *precalentador* fue construido en Humboldt (única suministradora de ciclones precalentadores hasta 1959). Posteriormente, las empresas de fabricación de maquinaria para la fabricación del cemento, se introdujeron en el mercado con sus propias versiones de precalentadores ciclónicos, basados en el mismo principio. Hacia 1953, la mayoría de los hornos producían entre 300 y 500 toneladas por día de clínker, mientras que para 1985, los hornos ya tienen una capacidad de 5,000 toneladas por día, este incremento en la producción se puede observar por la puesta en marcha de los intercambiadores de ciclón.

La carga térmica en la zona de cocción del horno puede resultar muy alta y con esto comprometer la vida útil de los revestimientos refractarios. Estas, entre otras razones, introdujeron a los fabricantes de maquinaria a considerar la posibilidad de transferir la mayor parte del tratamiento térmico del material, del horno propiamente dicho al precalentador, es decir, hacer que este último contribuya más al proceso de cocción y que tan sólo caliente al crudo. Esta aproximación nos lleva al desarrollo del precalcinador.

El proceso de *precalcincación* del clínker tiene un principio demasiado simple: se hace pasar los gases de combustión por una serie de ductos y ciclones por donde pasa el crudo a contracorriente con los gases, transfiriéndose el calor de los gases al crudo. Gracias a esto se trata de un proceso de flujo a contracorriente, el intercambio de calor proporciona un alto grado de eficiencia puesto que la temperatura del material pasa de 60 a 820 °C en unos pocos segundos. Con la simultánea reducción de la temperatura de los gases de 1,100 °C a 1,200 °C hasta 300 °C – 400 °C.

En un precalentador convencional el crudo sólo se calcina en una porción del 10 al 50% aproximadamente, mientras que el resto del CO₂ se elimina dentro del horno propiamente

del horno para conservar, en el interior del mismo, la mayor cantidad del calor generado por la combustión.

dicho. Por otro lado, se estima que hasta el 60 % del total del combustible p en el precalcinador y que la descarbonización del carbonato de calcio se l manera bastante bien en este dispositivo.

El proceso presenta la gran ventaja de permitir el uso de combustible calorífico y de altos contenidos de cenizas (carbón vegetal, lignito, desec llantas usadas, etc.) para su quema en el calcinador, donde una combusti temperatura relativamente baja (900 °C) es suficiente para lleva descarbonatación pretendida (90 % de descarbonatación).

Paralelo al desarrollo de hornos cada vez mayores, se han introducido al m *refractarios* especiales de gran tamaño como alternativa a los ladrillos conv utilizados. Se ha intentado la utilización de ladrillos machihembrados cu conseguir un ensamblado que mejore la estabilidad del revestimiento de l cual se mejora la eficiencia térmica en la zona de calcinación. En los paíse introdujo un ladrillo con altura superior a los convencionalmente²⁰ utilizad altura) consiguiendo con estos ladrillos un mejor acomodo contribuyendo del revestimiento, pero por otro lado se ha comprobado que los ladrillos hiladas muy altos, sufren un gran numero de astilladuras.

Así pues, la evolución tecnológica de los refractarios no ha sufrido gran car a la utilización de materiales, sino más bien se ha enfocado en el desarr formas y tamaños de los mismos motivados por el ahorro económico que incremento en la eficiencia térmica al evitar las pérdidas por radiación intercambio al interior del horno.

²⁰ El espesor de los ladrillos convencionales va desde los 160 mm para hornos de 3 m de diámetro, hornos de 6 m de diámetro.

9.4. Trayectoria Tecnológica del Uso de los Energéticos

La evolución en el uso de los energéticos a lo largo de los últimos años, no tiene una tendencia clara a preferir el uso masivo de un hidrocarburo por otro, sino que existe una tendencia a seguir utilizando el combustible convencional pero en cantidades decrecientes a lo largo del tiempo.

A partir de la crisis energética de los años setenta, la preocupación por el uso eficiente de los energéticos toma mayor fuerza y es entonces donde se puede ver una preocupación a nivel industrial por utilizar de una mejor manera los recursos. A partir de entonces se realizan esfuerzos para lograr utilizar menos cantidad de combustible por kilogramo de clínker producido.

El empleo de las llantas y desechos industriales como combustible en la industria de cemento comienza a finales de los años setenta en Estados Unidos primeramente, Francia luego propagándose a lo largo del continente Europeo, logrando sustituir hasta el 25 % del combustible utilizado en el precalentador sin que se notara algún incremento en la formación de CO₂.

Se puede decir que la evolución en el uso de los energéticos en la industria de elaboración del cemento se ha dado en dos direcciones complementarias, por un lado se encuentra el esfuerzo por buscar utilizar menor cantidad de combustible por cada kilogramo de clínker producido y por el otro lado se tiene el uso de combustibles no convencionales que son considerados desechos de otras industrias.

9.5. Trayectoria Tecnológica de los Colectores de Polvos

Aún cuando al principio del trabajo se hace hincapié en que su foco será desarrollado alrededor de las tecnologías en la etapa de calcinación, los polvos no son exclusivos de esta etapa y sí representan un grave problema ambiental, por lo que serán tomadas en cuenta

tecnologías de recuperación de polvos, no solo de los gases que salen de sino de algunos otros puntos estratégicos.

Retomando toda la teoría de los recuperadores de polvo, se puede argumentar diseñando diversos tipos de colectores, dependiendo de las condiciones de se quiere recuperar, se han desarrollado colectores específicos para las diversos procesos donde se pueden recuperar estos polvos.

En términos generales, la trayectoria tecnológica de los colectores de polvo se ha centrado en encontrar el mejor balance entre el costo de instalación y operación de los recuperadores; y el costo que representa lanzar a la atmósfera los polvos. Los progresos tecnológicos se han aplicado en la dirección de mejora de materiales (para el caso de los textiles), formas de los electrodos (en el caso de los electrocolectores), arreglo, aceleración de flujo y tamaño de los ciclones (en el caso de los ciclones de inercia).

10. INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

10.1. Antecedentes

Quizá esta sección es una de las más importantes del presente trabajo, dada la finalidad de hacer una interpretación de la información y datos obtenidos a lo largo de los meses asignados para realizar las actividades de investigación.

Es bastante gratificante haber seleccionado éste tema de investigación, se han encontrado cosas muy interesantes (las cuales están detalladas dentro del Anexo 1 de este trabajo) que ha podido llegar a conjeturas que, al inicio de la investigación, no se tendrían que surgir. No se puede decir que se ha agotado el tema desarrollado en este trabajo, ya que existen muchas limitantes, sobre todo temporales, para poder realizar un estudio más amplio, profundo y con mayores evidencias, sin que ello impida la realización de una investigación de buena calidad.

Cada una de las tesis desarrolladas por los estudiantes de cualquier carrera de esta facultad tiene la puerta abierta para los estudiantes de las generaciones posteriores, por ello se espera que este trabajo puede servir como base a la realización de futuros trabajos de investigación con las tecnologías de elaboración del cemento y cuidado del medio ambiente.

Ahora que se cuenta con las herramientas teóricas a cerca de cambio climático, contaminación ambiental y trayectorias tecnológicas, además de contar con las suficientes evidencias para poder hacer un análisis preciso y concreto, se dedicarán los siguientes párrafos a desmenuzar las evidencias para finalmente redactar las conclusiones pertinentes de esta investigación.

10.2. Análisis de las Tecnologías Empleadas para la Elaboración del Cemento

En un capítulo anterior se ha caracterizado la evolución tecnológica de los medios necesarios para la producción del cemento, específicamente en la etapa de calcinación. Dado el enfoque que se ha dado al trabajo, será dedicada una sección para contrastar con una las cuatro rutas tecnológicas descritas (combustión, intercambio de calor, uso de energéticos y recuperación de polvos) con el marco de referencia en el que se describe la contaminación ambiental, posible cambio de paradigma y nuevo paradigma ambiental.

Se mostrará el paralelismo que existe entre las trayectorias tecnológicas de una etapa localizada del proceso de elaboración de cemento y la trayectoria ambiental. En ocasiones será muy evidente este paralelismo y en ocasiones, las evidencias quizá nos estén demostrando la falta de paralelismo, es por ello que se manejarán cada una de las rutas tecnológicas por separado.

10.2.1. Tecnología de la combustión y contaminación ambiental

Desde el punto de vista de la contaminación, la combustión es la responsable directa de una gran parte de las emisiones contaminantes producidas por la industria de elaboración de cemento, sin embargo, la gran discontinuidad tecnológica se da alrededor de 1885 con el patentamiento del horno rotatorio, cuyo fin era hacer un mejor uso de la energía térmica en los hornos verticales puesto que éstos últimos son muy ineficientes en su aprovechamiento térmico. Adicionalmente se logró tener un impacto ambiental positivo.

Las dos principales mejoras incrementales que se han realizado en los hornos rotatorios son: el incremento de sus dimensiones motivado por la necesidad de producir mayores cantidades de producto para satisfacer la creciente demanda de cemento y la mejora en los materiales de construcción cuyo motor fue aminorar las pérdidas por radiación en las paredes de los hornos a raíz de la crisis energética de los años setenta. Esto se evidencia al comparar el consumo térmico requerido en la década de los sesentas contra el mismo consumo en la década de los setentas, la eficiencia térmica de los hornos pasó del 30 %

50 %. Claro está que éste incremento en la eficiencia térmica no sólo es por mejoras incrementales en el material, sino que van implícitas aplicaciones de alguna otras tecnologías complementarias en el horno de calcinación.

En cuanto a la tecnología de los quemadores, es posible afirmar que las mejoras incrementales que se han realizado, tienen la finalidad de mejorar la eficiencia de los combustibles para aprovecharlos al máximo. Al provocar una mejor eficiencia de los combustibles, se contribuye indirectamente a prevenir la contaminación por contaminantes debidos a la combustión incompleta, pero esto ha sido un beneficio adicional y no es el objetivo prioritario en las innovaciones incrementales de los quemadores. Existe un beneficio adicional que se puede apreciar al otro lado de la moneda de producción, el cuidado de los energéticos que son recursos naturales no renovables.

Se puede leer entre líneas que el empleo de los quemadores duales (pueden quemar combustibles diferentes), se presenta a raíz de la crisis energética en donde es más sencillo, o barato, obtener y quemar un combustible adicional al que normalmente se empleaba y cuyos beneficios no necesariamente se reflejan en pro del cuidado del ambiente.

Las mejoras tecnológicas de combustión no tuvieron, claramente marcada, una preocupación ambiental como uno de los motivadores para ser desarrolladas. Pero sí fueron contribuyentes a la prevención de la contaminación.

Efectivamente, si retomamos el concepto de cambio de paradigma ambiental de Pérez, podemos encontrar que sí existen mejoras que tienen la finalidad de hacer un uso más eficiente de los recursos naturales, sin embargo no tienen el trasfondo ambiental como motivador para realizar dichas mejoras. Si lo vemos desde el punto de vista de Sergio Escobar, podemos apreciar que, quizá ha ocurrido un cambio de mentalidad entre los empresarios, donde un uso más eficiente de los energéticos no es por ser empresarios ambientalistas, sino bien por ser agentes racionales que buscan maximizar sus beneficios, ante situaciones de contingencia como lo es la crisis energética.

10.2.2. Tecnología del intercambio de calor

Para el caso de las tecnologías de intercambio de calor, se puede observar un marcado énfasis en el hecho de la utilización de los precalentadores con el fin de aumentar la producción, hacia la mitad del siglo pasado, debido a la también creciente demanda de cemento. Se puede afirmar que la gran innovación radical realizada para los intercambiadores de calor es el uso de los ciclones como medio de precalentamiento, lo cual generó hacia los años setenta la gran discontinuidad en las tecnologías de intercambio de calor: el precalcinador. A partir de aquí, las mejoras tecnológicas se enfocaron en desarrollar arreglos convenientes en cuanto al número y disposición de los ciclones.

Como lo muestran las evidencias empíricas, las plantas cementeras encontraron en el uso del precalentador una forma de elevar la eficiencia térmica de las mismas; y con el uso del precalcinador, encontraron una forma de incrementar, en ocasiones hasta en 100 %, la producción con la utilización de menor carga térmica por cada kilogramo de producto.

El empleo del precalcinador marca un cambio de paradigma en la tecnología de intercambio de calor. Anteriormente a la implementación del precalcinador, sólo se usaban los precalentadores que lograban una calcinación menor al 50 %, dependiendo del tipo de precalentador, y el resto de la calcinación se hacía en el horno rotatorio. Con la implementación del precalcinador, se logró reducir el consumo de energía, se logró transferir una gran parte de la carga térmica del horno al precalentador, se logró tener mayor flexibilidad en el uso de los combustibles, se logró reducir el tiempo de permanencia del crudo en el horno y se logró aminorar los riesgos del horno ante la fluctuación de la carga térmica de antes. Es por ello que se puede afirmar tajantemente, desde la perspectiva teórica de Carlota Pérez, el uso del precalcinador representó un cambio en las herramientas y modos de hacer las cosas, un cambio en los patrones organizativos y en las posibilidades tecnológicas, los cementeros se encontraron frente a un enorme potencial de generación de riqueza, cuyo aprovechamiento exigió adoptar una nueva lógica.

Una vez adoptado este nuevo paradigma en el intercambio de calor, es evidente que generó una innovación radical cuyos efectos son perfectamente evidentes: el aumento de la producción, el uso racional de los energéticos y la mejora ambiental global del calcinador.

El uso del precalcinador fue una mejoría muy bien aceptada por los cementeros. Las ventajas que esto conlleva, recordemos que su proliferación se da para mejorar la eficiencia energética, viniendo a remediar muchos de los problemas puestos por el alto consumo de cantidad de combustible, ahora se podía elaborar mayor cantidad de producto.

En el caso de los sistemas de intercambio de calor, específicamente en el precalcinador, se puede ver como la tecnología no es algo que surge espontáneamente de la nada. En los años atrás surgieron los precalentadores que sirvieron como base para el desarrollo de esta tecnología. Lo que se ha podido apreciar es que la tecnología de los precalcinadores se desarrolla motivada por la crisis de los energéticos y gracias a que existía una tecnología antecesora a emplear como base de dicho desarrollo.

A pesar que el empleo del precalcinador en la industria del cemento representa una de las más importantes discontinuidades tecnológicas, la cuestión ambiental no es prioritario para su desarrollo, empero si contribuye al mejoramiento de las condiciones ambientales. La mejora tecnológica en el intercambio de calor no forma parte de una acción encaminada a la corrección del deterioro ambiental, sino por el ahorro energético y de operación de los hornos donde anteriormente se realizaba el proceso de calcinación.

No existe evidencia que relacione directamente las mejoras tecnológicas relacionadas con los materiales refractarios con una preocupación por el cuidado del medio ambiente. En este caso es evidente que el principal objetivo es el cuidado de los materiales de los hornos y como beneficio adicional se tiene una mejor retención de los gases industrialmente útil dentro del horno de calcinación. Y como uno de los beneficios secundarios es el uso eficiente de los combustibles y una posible

contaminantes emitidos por dejar de quemar una porción de combustible ante una mejora incremental en la tecnología de los materiales refractarios.

Una de las bondades que conlleva el uso de los materiales refractarios es la prevención de la contaminación térmica. Cuando una persona se coloca junto del horno y siente como desprende calor por radiación a través de las paredes, se está generando un tipo de contaminación denominado contaminación térmica. El material refractario logra minimizar los flujos de calor a través de las paredes del horno y al mismo tiempo minimiza la contaminación térmica y sus posibles efectos.

Con el empleo de las tecnologías de intercambio de calor se logró incrementar la eficiencia global de las plantas y como resultado se obtuvieron mayores cantidades de producción reduciendo el índice energético por unidad de producto.

Desde el punto de vista del nuevo paradigma ambiental, nos encontramos ante la evidencia indiscutible, de la reducción en el uso de los energéticos por cada unidad de producción mediante un mayor uso de la información y el conocimiento, por lo tanto la tecnología de intercambio de calor empata totalmente con la definición de cambio de paradigma y dejan ver los lineamientos del nuevo paradigma ambiental

En el caso de las tecnologías de intercambio de calor, la idea de Sergio Estrada, en cuanto a que nos encontramos en un cambio de mentalidad empresarial ante un posible cambio de paradigma ambiental, es correcta. A pesar que el uso de sistemas novedosos de intercambio, no fue algo que surgiera a raíz de los caprichos o decisiones de los empresarios, (sino por situaciones a nivel mundial) éstos vieron beneficio tanto económico como operativo en sus plantas y el cambio de mentalidad hacia el cuidado del medio ambiente surge como un agregado adicional a los otros beneficios.

10.2.3. Tecnología del uso de energéticos

Es evidente que el uso de los energéticos ha sufrido variaciones a lo largo del tiempo. A partir de la crisis energética de los años setenta, sobre todo se modificaron las tecnologías de las empresas. Para la industria de elaboración del cemento, las mejoras tecnológicas que fueron motivadas por ello y que fueron posibles gracias al conocimiento acumulado al respecto.

La tecnología, en cuanto al uso de energéticos, se vio sustancialmente influenciada. El principal objetivo es utilizar menos energéticos por cantidad de producto. El empleo de menos combustible por kilogramo de clínker se ve directamente reflejado en la disminución del consumo térmico por unidad de producto, esto se logra gracias a la eficiencia en la etapa de calcinación del clínker y por ende, la mejora en las tecnologías relacionadas repercutirá en el uso de los energéticos.

Sin embargo, la mejora radical se da en el uso de los combustibles alternos en la etapa de calcinación en el proceso de elaboración del cemento. Ésta innovación tiene claramente dos puntos de partida, la primera es el uso de energéticos más baratos que los convencionales que tengan el poder calorífico requerido para llevar a cabo la producción de clínker y la segunda es deshacerse de subproductos de otras industrias que son considerados fuente de contaminación ambiental.

En el trabajo de investigación, no se encuentra evidencia que relacione el uso de combustibles alternos con la crisis energética directamente, sin embargo, se adelantándose a otra posible crisis de esta índole y ante la preocupante generación de residuos no deseables por la sociedad, los cementeros se atrevieron a innovar tecnológicamente en el uso de combustibles no convencionales.

El uso de los energéticos en la industria del cemento, ha disminuido considerablemente. Para ello, las empresas cementeras han hecho mayor uso de la innovación tecnológica y conocimiento para entrar en un patrón de uso menos intensivo de energía por unidad de producto. Por lo tanto, cabe dentro del concepto de cambio de paradigma a un nuevo paradigma ambiental.

El uso de los combustibles alternos representa al empresario el ahorro económico de la proporción de combustible convencional que está sustituyendo. Aunado a ello, le repercute en cuanto a la imagen ante la sociedad ya que puede presumir de utilizar el desecho en planta y virtualmente ahorrarse esa misma cantidad de combustible convencional.

Con estas acciones no se deja de generar contaminantes puesto que finalmente se quemó materia, pero al estar utilizando como combustible algunos desechos que si son considerados contaminantes, se está contribuyendo al cuidado del medio ambiente.

Cuando Sergio Estada dice que el uso más racional de los energéticos es un cambio de mentalidad empresarial que puede fincar las bases del cambio de paradigma ambiental en las próximas décadas, se tiene un acercamiento a los patrones de conducta de los empresarios en relación a la conveniencia de emplear los energéticos de la manera más eficiente posible, ya que ello les repercutirá en beneficios económicos y prestigio social. La mentalidad del empresario simplemente es mejorar el negocio y no de ser “empresario verde”. Claro está que en la actualidad todo negocio lleva implícita la variable ambiental, en menor o mayor grado, pero implícita en su tecnología. Ya no se puede concebir la idea de un negocio sin que lleve algunas “gotas de jarabe” para la el mal de la contaminación.

No solo la mentalidad del empresario es importante, la sociedad tiene un gran peso en las decisiones de estos. En una conversación con el director administrativo de la Cámara Nacional de la Industria del Cemento, comenta que uno de los graves problemas en cuanto a desechos eran los pañales desechables que pueden quemarse perfectamente en un horno cementero sin alterar la calidad del producto y controlando cuidadosamente las emisiones de gases producto de la combustión de los mismos. Pero esto no es permitido ya que la sociedad vería con muy malos ojos la quema de pañales desechables en la elaboración de cemento. Por tanto los empresarios se ven en la necesidad de balancear su prestigio social y su conveniencia económica.

10.2.4 Tecnología de los colectores de polvos

En las tecnologías de recuperación de polvos, se encuentra depositada una de las más importantes formas de emitir contaminantes a la atmósfera y para el empresario es muy conveniente de no tirar dinero.

Las mejoras tecnológicas observadas en los recuperadores de polvos son de tipo incremental cuyo impulso es el de recuperar dentro de lo posible los polvos que se fugan a la atmósfera, en principio, para no perder producto o materia prima que se escapa a la atmósfera involuntariamente cuando se descargan corrientes de aire o gases.

Desde antes que la sociedad exigiera a los empresarios un mínimo de respeto al medio ambiente, los recuperadores de polvo ya existían, en esta evidencia se puede observar la dualidad en beneficios: el económico y el cuidado del medio ambiente.

A últimas fechas se sabe que los polvos emitidos por las plantas cementeras han sido la causa de trastornos de salud relacionados al sistema respiratorio de los seres humanos y de la contaminación de cuerpos de agua superficiales, por ello la legislación ha establecido límites a las emisiones de polvo. Todo ello ha contribuido y motivado que los recuperadores de polvo se vean mejorados para elevar la eficiencia de captación de polvo. La mejora en los materiales y mediante la forma y arreglo de los dispositivos de los recuperadores, pero conservando el principio básico con el cual fueron diseñados originalmente.

Este tipo de tecnología no cabe del todo dentro del cambio de paradigma ambiental de Carlota Pérez puesto que en el empleo de ella no se deja de hacer uso de energía, sin embargo, la implementación de ella si representa hacer uso más eficiente del conocimiento y de la información. A pesar que no se presentan mejoras reales que puedan compararse en tiempo con el surgimiento del nuevo paradigma ambiental de Carlota Pérez, se puede decir que las mejoras realizadas en los recuperadores de polvo

de la información ya existente y mediante un uso más amplio de conocimientos, se logran mejoras secuenciales.

Los recuperadores de polvo se implementa como una solución a la pérdida de materia prima y producto (y por ende dinero) y esta tecnología es adoptada con gran beneplácito por los cementeros y la sociedad de las plantas aledaña se los agradeció. Entonces la cultura del uso de recuperadores de polvos no es algo nuevo, pero actualmente ya forma parte de la mentalidad de negocios de los cementeros.

11. CONCLUSIONES

Como se advirtió en el marco conceptual, la trayectoria tecnológica se va conformando a lo largo del tiempo mediante la aportación de diversos agentes que contribuyen al desarrollo técnico, en donde se encuentra fuertemente identificado el aprendizaje tecnológico. Las formas de llevarlo a cabo, se pueden apreciar a lo largo del trabajo de investigación.

Por un lado, se conoce que México es un buen imitador tecnológico, es decir, que adquiere tecnología en el caso de la industria cementera, por lo que tiene que adquirir tecnología del exterior, en su mayoría tecnologías europeas. Sin embargo, las tecnologías requeridas deben ser adaptadas y/o bien modificadas para su implementación nacional. Estas adaptaciones han representado el más simple de los mecanismos de aprendizaje tecnológico, el aprender haciendo.

También es apreciable dentro de la industria cementera, el aprender haciendo, ya que los empresarios logran desarrollar sus capacidades tecnológicas a partir de experiencias relacionadas con el cambio en sus instalaciones o en su forma de hacer las cosas. Un ejemplo más claro y contundente de ello es la implementación de los precalentadores, que cambiaron la forma de hacer las cosas dentro del proceso de calcinación en la industria cementera.

Al mismo tiempo se puede apreciar cómo el empresario mexicano se ha apoyado en la búsqueda de capacidades externas que le han permitido asimilar cambios tecnológicos en la industria específica. Una parte de estas capacidades han llegado a través de la información incorporada en el capital humano y otra parte ha llegado de manera indirecta en el conocimiento general que se tiene del proceso productivo.

Todos los mecanismos de aprendizaje, han permitido hacer cambios en la trayectoria tecnológica de la industria cementera. En ésta industria, existen algunas características que influyen de manera muy evidente en la evolución de la trayectoria tecnológica.

ejemplo, la calidad de la materia prima, el costo del combustible, la normalización local, la presión social, entre otros. Todos estos factores aparecen como precursores de los mecanismos de aprendizaje.

A estas alturas del trabajo de investigación, se puede apreciar claramente y mediante evidencias empíricas, que la hipótesis planteada desde un principio, se corrobora, es decir, el cambio en la variable ambiental, depende de tres factores principales que son: el institucional, el social y científico y el organizacional. La organización participa por el bienestar social y la parte institucional lo hace para formalizar los reclamos de la sociedad y para regular la participación industrial en el funcionamiento del aparato económico.

Sin embargo y a pesar de todo lo que pudiera parecer, los agentes se encuentran colocados en dos posiciones diferentes y pareciera que divergentes. Por un lado el obtener beneficios económicos y bienestar social; y por otro lado se encuentra la preocupación y concientización por los problemas ambientales intrínsecos a la generación de beneficios.

Muy a pesar de que los conocedores afirman que el cuidado del medio ambiente no es negocio, es pertinente reconocer que el negocio está en saber vender, a las tres partes: institucional, social y organizacional, el traje que mejor se adapte a las necesidades tecnológicas que las tres en conjunto requieren para alcanzar los objetivos que cada una persigue por separado.

Aterrizando la situación al plano empresarial se puede observar la dualidad en la que se encuentra inmersa la trayectoria tecnológica de una empresa. Es decir, está determinada por los cambios incrementales que posee una fuerte dosis de racionalidad empresarial para obtener beneficios económicos y una muy pequeña porción de compromiso y conciencia ambiental.

Efectivamente, como era de esperarse, el cambio tecnológico modifica el comportamiento de la variable ambiental dentro de la industria de elaboración de cemento de forma no deliberada puesto que están sujetos al comportamiento de tecnologías que si son modificadas deliberadamente.

Sería muy complicado determinar cual fue la naturaleza exacta de cambios tecnológicos e innovaciones incrementales en las trayectorias tecnológicas analizadas, sin embargo se puede observar que el camino natural que siguen dichas innovaciones, es el de un incremento en la producción y en la reducción de costos principalmente. Por lo tanto no se olvide la pequeña contribución de los demás factores que se pueden identificar en el camino.

Las trayectorias tecnológicas se van construyendo con mejoras incrementales a lo largo del tiempo, son de carácter secuencial y son irreversibles. Por lo tanto si en algún momento surgió una crisis energética a nivel mundial, es de esperarse que las modificaciones que las trayectorias tecnológicas de las empresas tomen un sentido secuencial que repercute con mucha claridad en nuestros días. Si en este momento se presentara una situación de abundancia energética, las trayectorias tecnológico-ambientales no retrocederían al uso indiscriminado de los energéticos.

En la industria del cemento no se ha abandonado el patrón de uso intensivo de los energéticos más bien ha pasado a un menor uso de energía por unidad de producto en comparación con otros tiempos, pero actualmente la producción de cemento se practica a niveles mayores que en aquellos tiempos, los resultados globales resultan en una menor cantidad de contaminantes que antes.

Por lo tanto la doctrina promulgada por Carlota Pérez puede ser aplicada a la industria de elaboración del cemento por las siguientes razones:

- La industria del cemento hace uso menos intensivo de los energéticos en comparación con las décadas anteriores, o mejor dicho, hace un uso más racional de los energéticos.

- La industria del cemento hace uso más intensivo de la información y del conocimiento para encontrar maneras de usar de una mejor manera los energéticos.

A pesar de que algunas rutas tecnológicas no presentan mejoras radicales simultáneamente con la crisis energética ni son motivadas directamente por ello, si se puede ver con claridad durante estos periodos, se guarda una simetría en los resultados que finalmente coadyuvan al uso menos intensivo de energéticos mediante un mayor uso de conocimiento e información.

La doctrina de Sergio Estrada esta enfocada al futuro cambio de paradigma y surgimiento del nuevo paradigma ambiental en las próximas décadas, cuando se hayan reunido las condiciones y actores necesarios para que se dé dicho cambio. Actualmente se vive un cambio de mentalidad entre los empresarios y la sociedad que está fincando las bases para los acontecimientos futuros. Esta doctrina es más descriptiva de la situación actual, sin embargo, los resultados arrojados por la investigación en la industria del cemento, hacen pensar que no es tanto un cambio de mentalidad lo que esta ocurriendo; si así fuera, sería suficiente lanzar campañas de concientización empresarial y social para acelerar el proceso de transición al nuevo paradigma.

Los acontecimientos actuales reflejan la combinación de un grupo de elementos, actores y tiempos que generan un balance entre economía, desarrollo, productividad y bienestar social, que dan como resultado que se motive a generar el cambio que se requiere para pasar de un paradigma ambiental a otro, a pesar de los intereses encontrados de los empresarios y del sector gobierno.

Por otro lado, la industria de elaboración del cemento, tendría una trayectoria tecnológica mucho más marcada al cuidado del medio ambiente, si la parte institucional aplicara la verdadera filosofía de “el que ensucia paga”. Es decir ¿Qué pasaría si se aplicara un impuesto a los energéticos para aquellos que más consumen y contaminan? Seguramente los industriales buscarían a toda costa, reducir el consumo y por ende la generación de contaminantes derivada de la quema de los energéticos. ¿Qué pasaría si se incentivara

tecnología limpia, mediante una reducción del precio del financiamiento? los empresarios lo verían con buenos ojos.

En fin, el marco institucional aún tiene un gran camino que explorar y recorrer. La industria no camine sola en la ruta de lo amigable con el ambiente.

La sociedad en su conjunto ve con muy buenos ojos el hecho que un producto elaborado cuidando la cantidad y calidad de emisiones que se generan al producirlo, se ve reflejado en la publicidad que hacen las empresas a sus logros (premios, certificaciones, acciones en seminarios, acciones en pro del ambiente, certificados obtenidos, etc.). La sociedad observa que en la etiqueta del producto adquirido aparece la cuestión ambiental como una de las características del producto, tenderá a seguirlo comprando. Las empresas que no hacen referencia a su participación en acciones ambientales.

Se pueden citar ejemplos en los cuales se hace evidente el impacto de la publicidad en las etiquetas. Quien, en la tienda de autoservicio, no ha visto la leyenda de la lata de sprays: *“este producto no daña la capa de ozono”*; en la lata de atún: *“del atún, se protege la vida de los delfines”*; en los cuadernos escolares: *“elaboró con papel 100% reciclado”*. En fin, se puede mencionar infinidad de ejemplos en los cuales se trata de dar una buena imagen, en pro del ambiente, en la producción y procesamiento de los productos.

Esta forma de infundir en la sociedad mediante un patrón de consumo preferido los “productos limpios”, ha tenido éxito entre las diferentes empresas que buscan la posibilidad de acrecentar o conservar su mercado. Es por ello que en los últimos años las empresas han desarrollado esfuerzos para lograr sacar al mercado productos en los cuales se hace alusión positiva a la conservación del ambiente. Antes de las conclusiones del trabajo de investigación, vale la pena hacerse una pregunta

¿Hacia donde apuntan las líneas de investigación en la industria?

Después de analizar algunos de los estudios que se han realizado, principalmente en Europa, los hallazgos revelan que la industria de elaboración del cemento, se dirige hacia la búsqueda de sustituir el combustible convencional por combustibles alternos. Tanto las investigaciones ambientales como los esfuerzos institucionales al interior de la industria de elaboración del cemento, se enfocan a la búsqueda de un mayor empleo de combustibles alternos en los hornos de calcinación de clínker.

Aparentemente, uno de los principales esfuerzos de la industria cementera, se está dando en torno al uso de los energéticos. Actualmente se realizan pruebas de laboratorio para documentar las posibles ventajas y desventajas del empleo de combustibles alternos en la industria.

Esto, seguramente tiene el fondo de su explicación en el doble papel que se puede jugar. Por una parte el hecho de quemar combustibles alternos, que a su vez son subproductos de otras industrias y considerados contaminantes, reduce la cantidad de los mismos que típicamente se venían que ser depositados en confinamientos o rellenos sanitarios; y por el otro lado, los cementeros pueden adquirir los combustibles alternos a un menor costo de lo que pueden adquirir los combustibles convencionales.

Gracias a ésta dualidad, se perciben beneficios adicionales los cuales surgen paralelos a la implementación de tecnologías para el quemado de combustibles alternos. Tales beneficios pueden ser explotados como un valor agregado dentro de los negocios tradicionales de la industria del cemento. Por ejemplo, ante la sociedad, el deshacerse de contaminantes (subproductos de otras industrias) le coloca una “estrellita en la frente” a los cementeros que logran hacer un buen uso publicitario de éste hecho.

Tienen una gran importancia los combustibles alternos dentro de la calcinación en las plantas cementeras, se ha logrado desarrollar toda una base de investigación a cerca de la forma en que algunas plantas han empleado exitosamente los desechos de otras industrias.

para utilizarlos en sus hornos. Al parecer, todo indica que ésta práctica ha sido vista con buenos ojos por parte de la sociedad (por lo menos la europea) y por los cementeros que han implementado.

El punto de vista de los “grupos ecologistas” es divergente, por un lado al respecto del hecho de que las industrias que tienen la tecnología para controlar los contaminantes generados por la quema de residuos industriales, lo hagan. Y por otro se encuentran los que no aceptan la quema de desechos bajo el argumento de que son residuos peligrosos que requieren de un tratamiento especial. Este último argumento es una razón si se metieran a los hornos residuos peligrosos para la salud de quienes los queman, sin embargo, éste tipo de residuos está bastante reglamentado y los cementeros ya los han incorporado como combustibles. Normalmente hacen uso de llantas usadas y también queman aceites y pinturas en menor escala.

A pesar de las voces en contra, los cementeros han tratado de demostrar que la quema de residuos industriales como combustible alternativo, es una opción tecnológica que han venido desarrollando en las últimas dos décadas.

Por último se plantean un par de reflexiones finales, con las cuales se puede continuar desarrollando por lo menos otra tesis:

El cambio de paradigma ambiental deberá estar marcado por el balance entre la búsqueda de verdaderas “tecnologías limpias”, la maximización de ganancias del sector y el bienestar social y una participación activa de los encargados de generar políticas institucionales que se adecue a la realidad de la industria cementera nacional.

A pesar de las afirmaciones a cerca de que el medio ambiente no es negativo, surge como tarea una pregunta para los cementeros ¿Qué pasaría si la trayectoria tecnológica de la industria tuviera como fuente motriz la preocupación por hacer negocio con criterios ambientales?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abernathy, W. y Utterback, J.; *A dynamic model of process and product development*; Omega; 1975.
- Albar, E.; *Fatalismo y tecnología: ¿Es autónomo el desarrollo tecnológico?*; Omega; 2001.
- American Chemical Society; *Technology vision 2020, the U.S. Chemical Industry*; Diciembre 1996.
- Bell, M.; *Learning and the accumulation of industrial technological capabilities in developing countries*, en *Technological capacity in Third world*; Londres; 1985.
- Bitál; *Anuario Estadístico 2000*; 2000.
- Burgueño, O. y Pittaluga, L.; *El enfoque neoschumpeteriano de la innovación*; Quantum; Vol. 1; No. 3; 1994.
- Calderón, A.; *Cemento Pórtland: fabricación propiedades y empleo*; México; 1984.
- Champonnois, M.; *Increased production and energy saving with precalculated cement*; Cement Review; enero/febrero 1984.
- Chesney, L.; *El desarrollo sustentable ¿Un nuevo paradigma?*; 2000.
- Cimoli, M. y Dosi, G.; *Technological paradigms, patterns of innovation and development: An introductory Roadmap*; IIASA Working Paper. 1994
- De la Rosa, T[a].; *Oro gris*; Revista Obras; No. 343; julio 2001.
- De la Rosa, T[b].; *En la trinchera nacional*; Revista Obras; No. 343; julio 2001.
- Dosi, G.; *Technological paradigms and technological trajectories*; Research Policy; 1982.
- Dosi, G. Orsenigo, L. Silverberg, G.; *Innovation, diversity and diminishing returns: An organization model*; The economic Journal; May 1988.
- Dugupta, S. et al; *What improves environmental performance? A study of the Mexican industry*; Development Group; World Bank; Diciembre 1997.
- Ecotrade; *La ecoeficiencia de los cementos combinados*; 2000.

- Escobar, N.; *La innovación Tecnológica*; Medisan; 2000
- Estrada, S.; *Los instrumentos de la certificación ambiental en México*; Ta Internacional sobre Prácticas de Regulación Directa y Certificación Ambiental; Querétaro, México, 1997.
- Fagerberg, J.; *A technology gap approach to why grow rates differ*; Research policy 16; 1987.
- Fritz, P.; *Cemento: fabricación, producción, propiedades y aplicaciones*; Editores Técnicos Asociados; España, 1973.
- Kuhn, T.; *La estructura de las revoluciones científicas*; Fondo de cultura económica; 1962.
- Labahn and Kohlhaas; *Prontuario del cemento*; Editores Técnicos Asociados; España; 1985.
- Malerba, F.; *Learning by firms and incremental technical change*; Economic Journal Vol. 102; 1992.
- Marchal, G.; *La ecoeficiencia de los cementos*; 2001.
- Osorio, C.; *Organización de estudios Iberoamericanos para la educación, la ciencia y la tecnología*; Santa Fe de Bogotá; Nov 2000.
- Neville, A.; *Tecnología del cemento*; Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.; México, 1999.
- Newman, E.; *Energy alternatives, the substitution of fossil fuels in cement kilns*; International cement review; mayo 1992.
- Pavit, K.; *Sectoral patterns of technical change: two a taxonomy and a theory*; Research policy 13; 1984.
- Peray, K.; *The rotary cement kiln*; Reino Unido ; 1986.
- Perez, C.; *Microelectronics, long waves and world structural change: new perspectives for developing countries*; World development; 1985.
- Pérez, C.; *Las nuevas tecnologías: una visión de conjunto, El Sistema Internacional de Comercio, América Latina, La tercera revolución industrial, Impactos internacionales del avance tecnológico*; Grupo Editor Latinoamericano, 1986.
- Pérez, C.; *Nuevo contexto para el desarrollo sustentable*; 2000.

- Phillips, E. y Pugh, D.; *Cómo obtener un doctorado: manual para tutores*; España 2001.
- Plauchú, A.; *Eficiencia en calderas*; FIDE; México 1995.
- *Propuesta de límites máximos permisibles* de la Dirección de Asuntos Vice Ministerio de Industrias, Subdirección Cemento; Perú; 2001.
- Ramos, J.; *Metodología para el diagnóstico energético en una planta cemento*; División de estudios de posgrado, facultad de ingeniería UNAM
- Román, G.; *La estrategia de producción más limpia y su relación con la energética, hacia un desarrollo sustentable*; Centro Mexicano para la Producción Limpia; México, 1998.
- Semanario de la UAM; *El desarrollo sustentable, agenda pendiente*; UAM; D.F.; diciembre 2002.
- Sheinbaum, C. et al; *Modelo de escenario energético de emisiones a largo plazo para el invernadero para México*; Instituto de Investigaciones UNAM; México, 2002.
- Soriano, M.; *Cemento y desarrollo sostenible*; Revista Cemento Hormigón; España, enero 2002.
- Vielay J.; *Experiencia sobre valorización energética de residuos en cemento S.A. de C.V.*; Revista Cemento Hormigón; No. 814; España, Septiembre 2002.
- Villalba, D.; *Reflexiones sobre las relaciones entre la estructura económica y la social*; Universidad Nacional de Lujan-Argentina; 2000.
- *World Energy Council* (WEC); Nueva York; 1993.
- Yin, R; *Case study research: design and methods*; Sage publications; Los Angeles; 2003.

PÁGINAS EN INTERNET

1. www.anahuac.mx Cementos Anahuac.
2. www.apasco.com.mx Grupo Apasco.
3. www.battelle.org Environmental Technology Assessment and Integration Group.
4. www.canacem.org.mx Cámara Nacional del Cemento.
5. www.cemex.com.mx Cementos Mexicanos.
6. www.cmic.org Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.
7. www.conae.gob.mx Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.
8. www.cruzazul.com.mx Cementos la Cruz Azul.
9. www.imcyc.com Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
10. www.ine.gob.mx Instituto Nacional de Ecología.
11. www.inegi.gob.mx Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
12. www.semarnat.gob.mx Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
13. www.shcp.gob.mx Secretaría de Hacienda y Crédito Público

ANEXO 1

TRAYECTORIAS TECNOLÓGICAS DE LA INDUSTRIA DEL EVIDENCIA EMPÍRICA

1. Trayectoria Tecnológica de la Combustión

La tecnología que permite la combustión no se puede limitar solo al artefacto de flama, sino que se debe ir más allá. La combustión se da mediante ciertas características que permiten al combustible y al oxígeno reaccionar y después de dicha reacción. La combustión se efectúa dentro de los dispositivos destinados a realizarla mediante un dosificador de combustible denominado quemador. En este capítulo se analizarán por separado las dos tecnológicas necesarias para que se pueda realizar la combustión que permitirá producir clínker, hornos de calcinación y quemadores.

Hornos de Calcinación

2,000 años atrás han sido utilizados los hornos verticales, los cuales no son adecuados debido a que poseen una forma muy simple en el diseño de la chimenea con lo que genera una cantidad importante de pérdida en la eficiencia térmica. La solución a este problema fue la implementación de los hornos rotatorios en la industria del cemento.

El uso del horno rotatorio, probablemente comienza en 1877 en Inglaterra, cuando Ransome es el poseedor del crédito del primer horno rotatorio exitoso, el cual fue patentado en Inglaterra en el año de 1885. Fueron cruciales los trabajos realizados por los ingenieros americanos, unos pocos años después del patentamiento de Ransome se trajo el concepto del horno rotatorio en su etapa muy temprana. El primer horno rotatorio que se instala en América fue en Atlas Cement Company, en el año de 1890.

Se puede decir que los hornos con chimenea de alimentación continua (los gases salían directamente del horno hacia la chimenea e inmediatamente a la atmósfera), han sido totalmente reemplazados en la industria del cemento. Algunos años atrás, las chimeneas mostraban bajos rendimientos térmicos y de potencia, la aparición de los precalentadores y el precalcinador del clínker, con los incrementos en la producción y mejora de la eficiencia en la quema del combustible, ha vuelto obsoleto el sistema de chimenea de alimentación continua.

El primer horno Rammsome era de 45 cm de diámetro por 4.5 m de largo. Más tarde, hacia 1900, los hornos rotatorios crecieron en dimensiones a 2.8 m de diámetro y 18 m de largo, los cuales se pueden clasificar en la actualidad como miniaturas. Los hornos de grandes dimensiones se instalaron en la década de 1960 contando con un diámetro de 6.5 m y una longitud de 238 m. Con estas dimensiones y las resultantes cantidades de producto elaborado, surgieron problemas para las nuevas estructuras y control de los mismos. Uno de estos problemas es que la vida del refractario llega a ser económicamente inconveniente para hornos que trabajan bajo estas condiciones espaciales.

La crisis energética representó un beneficio en cuanto a materiales para el diseño de hornos. Súbitamente, la conservación de la energía llega a ser el punto número uno de prioridad, en muchas de las plantas cementeras las cuales se dirigieron a incrementar la construcción de precalentadores en toda la porción norte del continente Americano. Mediante estos precalentadores se satisfacía la necesidad de un bajo consumo de combustible. La principal mejora que marca un parte aguas en la industria del cemento se da en Europa con el surgimiento del precalcinador, en los años sesenta. Los expertos coinciden en que la principal mejora tecnológica en la industria de elaboración de cemento, se da con la aparición del precalcinador, puesto que éste combina el bajo requerimiento térmico y contempla un mayor valor en la relación de producción comparado con el valor estimado unos cuantos años antes de la implementación de esta tecnología.

Para caracterizar este tipo de tecnología, es pertinente colocar el valor teórico del calor requerido para la cocción del clínker. Se ha podido observar que el valor teórico para la cocción se mueve en un intervalo de 350 a 440 kcal/kg de clínker, tanto, dentro de un intervalo estrecho como este, se puede aceptar como valor teórico de 400 kcal/kg de clínker.

Se tiene conocimiento que en los hornos de calcinación, el consumo calorífico por kilogramo de clínker producido, se ha reducido de manera importante en las últimas décadas. Por ejemplo hacia 1960, el consumo térmico en los hornos rotatorios era de aproximadamente 1,200 kcal/kg de clínker y para mediados de los años 70 se redujo a 750 – 850 kcal/kg de clínker. Y dado que el consumo específico actual es de aproximadamente de 420 kcal/kg de clínker, se considera que para el momento el rendimiento térmico de cocción es del 50 %. Esta mejora en el rendimiento se logró mediante el uso de los hornos Lepol²² los cuales cuentan con un sistema de circulación de gases y un intercambiador de calor por suspensión de crudo e

Quemadores

El artefacto encargado de realizar la combustión propiamente dicha es el quemador. El diseño y uso del quemador depende en gran medida del tipo de combustible utilizado para la combustión. En la industria de elaboración del cemento, se emplean principalmente el carbón, combustibles líquidos (aceite o combustóleo) y el gas natural. A continuación se caracteriza esta tecnología describiendo en que consiste cada uno de los quemadores señalados.

i) Quemadores de carbón

Para este tipo de combustible existe la combustión directa, la combustión indirecta y la combustión indirecta. En la combustión directa el carbón (seco o húmedo) se conduce simultáneamente) se conduce directamente del molino al quemador s

²¹ Tomado del libro Cemento, fabricación, propiedades y aplicaciones; 1973.

intermedio. La totalidad del aire que sale del molino entra con el carbón, como aire primario²³ al horno.

En el sistema indirecto, el carbón se somete igualmente al secado y molido simultáneamente, pero a la salida del molino se almacena en un depósito o silo, antes de llegar al horno.

El sistema semidirecto permite que la cantidad de aire primario pueda limpiarse por la inyección del carbón pulverizado, devolviendo al molino el exceso de aire que es necesario para la eliminación de la humedad durante el proceso de molienda-secado.

Para que el carbón se queme de una manera satisfactoria, es necesario un pequeño exceso de aire (5-15 %) sobre el mínimo necesario para la combustión completa teórica. Un quemador de carbón, es esencialmente, un tubo liso, dispuesto en su parte superior con un nodo semejante a un soplete cuya velocidad del aire que arrastra al carbón es de 40 – 80 m/s y la cantidad de aire primario es de 0.7 – 1.8 Nm³/kg carbón.

Dado que la generación de contaminantes se puede presentar con la quema ineficiente del carbón por una inadecuada mezcla de aire combustible, no es difícil intuir que las principales mejoras tecnológicas realizadas en los quemadores de carbón se presentan básicamente en la regulación del flujo tanto del combustible como del aire primario.

ii) Quemadores de combustible líquido

Los quemadores de combustible líquido consisten en toberas y cuyo punto medular es la eficiente atomización del combustible. En la historia de los quemadores, se han desarrollado varios tipos de toberas para conseguir una eficiente nebulización del combustible (normalmente precalentado). El combustible es inyectado a presión que varía entre 3 a 10 bares y la longitud y amplitud de la llama dependerá de la eficacia del atomizado y el tipo de combustible utilizado.

²² El nombre de los hornos Lepold lo toman de su creador.

²³ Se le llama aire primario al aire que sirve para realizar la combustión.

En este tipo de quemadores, el punto en donde se han dado las mejoras en la atomización del combustible y la relación aire combustible para cabo una combustión eficiente.

iii) Quemadores de gas natural

Hoy en día, el uso del gas natural ha tenido una grana aceptación en cemento debido a la facilidad que presenta el gas en cuanto a su costo. En primer lugar no se requiere de aire primario y el aire caliente del enfriador de clínker se puede emplear como aire secundario en proporción que con cualquier otro combustible.

Este tipo de quemador actualmente es de uso extenso, operando con una salida del gas de 600 m/s y con presiones del orden de los 4.5 bares. Este quemador, permitió el desarrollo de una tecnología dual, se puede adaptar para quemar gas natural y carbón.

La ventaja de tener gas natural y carbón es que el gas natural genera mucho menor de volumen de gases en la combustión. Y dado que el quemador natural esta concebido para controlar el fuego en un abanico amplio de temperaturas el horno puede arrancar en frío sin necesidad de tener un quemador generando una cantidad mucho menor de gases de combustión.

En este tipo de quemadores, las mejoras tecnológicas se hacen a la velocidad y presión de inyección el gas para generar la combustión. La particular importancia en el uso del quemador dual que proporciona ventajas este tipo de quemador no tiene.

2. Trayectoria Tecnológica del Intercambio de Calor

El intercambio de calor consiste en aprovechar las corrientes con alto contenido calórico (puede ser producto, agua o gases calientes) dentro de un proceso de producción para transferirles el calor a otras corrientes con menor contenido calórico (puede ser agua o materia prima a temperatura ambiente).

En un principio, los dispositivos de intercambio de calor eran de acero refractario, actualmente son de materiales cerámicos. Y a partir de este principio, han evolucionado intercambiadores de calor más sofisticados con el fin de mejorar el rendimiento térmico de la cocción del clínker. Podemos identificar tres tipos de intercambiadores de calor para la industria del cemento:

- Precalentadores de parrilla
- Precalentadores de ciclones
- Precalcinadores

Precalentadores de parrilla

Uno de los precalentadores que se empleaba de forma importante en la industria cementera era el *precalentador de parrilla* (parrilla Lepol). Un precalentador de este tipo consiste en una parrilla móvil sobre la cual avanza un lecho de material crudo granulado. La corriente de gas caliente del horno pasa a través del lecho de 15 a 20 cm de espesor formado sobre la parrilla, pasando una sola vez (en los modelos de paso simple) y dos veces (en los modelos más modernos).

Precalentadores ciclónicos

La primera patente que se basa en la aplicación de un ciclón como precalentador de los gases del horno, fue solicitada por Vogel-Jorgensen, en 1934, siendo concedida en el año de 1934.

Se propone el precalentamiento del crudo, en un ciclón separador, antes de entrar al horno rotatorio. No obstante, pasaron 19 años (1953) antes que se implementara satisfactoriamente el primer ciclón precalentador (o precalentador de suspensión) instalado en una cementera cuya finalidad era garantizar la producción de 300 toneladas de clínker por día. La primera implementación de un horno con ciclón precalentador fue construido por Humboldt (única suministradora de ciclones precalentadores). Posteriormente las empresas de fabricación de maquinaria para la fabricación de hornos se introdujeron en el mercado con sus propias versiones de precalentadores basados en el mismo principio.

Hacia 1953, la mayoría de los hornos producían entre 300 y 500 toneladas de clínker, mientras que para 1985, los hornos ya tienen una capacidad de 5,000 toneladas por día, este incremento en la producción se puede observar por la puesta en marcha de intercambiadores de ciclón.

La exigencia de cada vez más elevadas cantidades de producción de clínker por unidad de horno, dio como resultado el aumento de tamaño de los hornos y del precalentador.

Con el aumento del tamaño del horno, no es fácil el transporte de hornos prefabricados de éstos a la hora de instalarlos, por lo que el horno se debe construir en el sitio de su erección. La carga térmica en la zona de cocción del horno puede ser alta y con ello comprometer la vida útil de los revestimientos refractarios. Por estas razones, introdujeron a los fabricantes de maquinaria a considerar la posibilidad de transferir una mayor parte del tratamiento térmico del material, del horno

dicho al precalentador, es decir, hacer que este último contribuya más al proceso de cocción y no tan solo caliente al crudo. Esta aproximación nos lleva al desarrollo del precalcinador.

Sistemas de Precalcinación

Una de las principales mejoras que se han realizado en cuanto a intercambio de calor en la industria del cemento es la aportación realizada en la década de los años 70 con el desarrollo industrial de la precalcinción del clínker. Desde el punto de vista técnico, se trata del rediseño de líneas de quemado; desde el punto de vista económico, es un precursor en el incremento de la producción de clínker con la reducción del consumo de energía y también la mejora considerable de las condiciones de operación.

Las principales ventajas en la aplicación industrial del precalcinador de clínker (Champonnois, 1984):

- Importante ahorro en el consumo de energía.
- Aumento de la producción por unidad de energía empleada.
- Mejora la operación del horno.
- Coasidesaparición del enfriamiento en las partes bajas del precalentamiento.
- Proporciona una mejor flexibilidad en el uso de combustibles

En los siguientes párrafos se presentan ejemplos de la utilización de este proceso de precalcinción²⁴:

1. La planta cementera ***Ciments Lafarge*** en Lexos (Francia), fue una de las primeras cementeras en Europa en ser equipadas con un precalcinador. La planta Lexos tiene una capacidad nominal de 750 toneladas por día y un consumo térmico de 5,

²⁴ Tomado de la revista World Cement, 1984

kJ/kg de clínker. La conversión de su proceso con la adición de un precalcinador para la planta fue decisiva para incrementar su producción a 850 toneladas por día, con un consumo térmico promedio de 3,350 kJ/kg de clínker.

2. La planta cementera Ciments Lafarge en Le Teil (Francia), fue equipada con un precalcinador incrementando su producción de 350 a 850 toneladas por día con una reducción de 9,200 kJ/kg de clínker a 4,815 kJ/kg de clínker.
3. La planta cementera Berbera (Somalia) realizó su conversión para aumentar la producción, logrando duplicarla de 300 a 600 toneladas por día.
4. En CIMPOR's Cement Plant Alhandra (Portugal), realizaron una modificación de las cicloneas de cinco pasos y se adoptó la combustión del carbón. Como resultado se logró el incremento de la producción de 1,700 a 2,700 toneladas por día; y se redujo el consumo térmico de 5,860 a 3,325 kJ/kg de clínker.
5. Entre 1981 y 1982, Halkis Cement Co. (Grecia) adoptó el precalcinador en su proceso obteniendo como resultado el incremento de su producción de 1,800 a 3,600 toneladas por día.
6. En 1982 Loulé Cement (Portugal) adoptó el precalcinador obteniendo un incremento en su producción de 1,000 a 1,600 toneladas por día.
7. La planta de Saint-Pierre-La-Cour de Cementos Lafage adquirió un precalcinador de cinco etapas con lo cual logró aumentar su producción de 1,200 a 2,400 toneladas por día.

Como se puede observar en estas implementaciones de precalcinadores, el objetivo que se perseguía era aumentar la producción de clínker por cada unidad de capacidad. Como resultado se obtuvo como un valor agregado la reducción en el consumo térmico y las mejores condiciones de operación de los hornos.

Material Refractario

La función de los revestimientos refractarios consiste en proteger a las chapas metálicas del contacto directo con la llama o con gases o sólidos muy calientes. Por ejemplo, las chapas del horno presentan un marcado descenso en su resistencia con temperaturas superiores a los 400 °C; mientras que al pasar el clínker se alcanzan temperaturas de 1,300 a 1,500 °C y la llama alcanza temperaturas de 1,900 °C.

Las pérdidas de calor por radiación a través de las paredes del horno, dependiendo del sistema del mismo, se localizan entre el 12 y el 22 % del calor desprendido por la llama y los gases de combustión asociada.

La superficie tosca de los revestimientos del material refractario, además, promueve el avance del material, por lo cual se consigue una mezcla efectiva y la transmisión de calor de los gases calientes al material crudo. El material refractario juega un papel muy importante en la elaboración del cemento ya que éste material se encuentra expuesto a daños causantes de perturbaciones y a que, por este motivo, pueda ser necesario el paro de las instalaciones para reparaciones. El costo del revestimiento refractario puede alcanzar hasta el 2 % del costo total de la obra de apertura de una planta cementera.

Aún cuando en los grandes hornos rotatorios se puede apreciar un menor consumo específico de refractario (menos kg de refractario por tonelada de clínker), el riesgo de paro del horno por una inesperada destrucción del revestimiento es mucho mayor en estos hornos que en los pequeños (diámetros menores a 4 metros). Esta tecnología está fuertemente ligada con el empleo de los sistemas de precalentamiento o precalcinao puesto que con la introducción de esta tecnología se presenta la ventaja de menor exigencia de la carga térmica en la zona de cocción y, por consiguiente, una reducción sustancial de las condiciones rigurosas a que está expuesto el revestimiento de dicha zona.

Para los hornos típicos, se tiene que el 35 % del revestimiento es de ladrillo
35 % de ladrillos de cromomagnasita y el 30 % restante de ladrillo
silicoaluminosos, refractarios ligeros, ladrillos especiales y refractarios mon

Se pueden hacer las combinaciones que se adecuen a las condiciones de t
planta en particular. A pesar de la variación en la combinación en tip
refractario, a lo largo del tiempo no ha variado significativamente la gama
empleados comúnmente en las plantas de elaboración de cemento.

Las variables más importantes que se cuidan y se han tratado de mejorar al
materiales refractarios son: refractariedad con y sin carga, resistencia a la
frío, resistencia a la abrasión, resistencia al choque térmico, resistencia quín
térmica, estabilidad de volumen, conductividad térmica y porosidad. La m
propiedades ya se encuentran intrínsecas al material empleado y poco se
respecto. Sin embargo, la mayor atención se ha enfocado en el tamaño
ladrillos refractarios de tal suerte que su dimensionamiento sea el má
conveniente para el revestimiento de los hornos.

3. Trayectoria Tecnológica del Uso de Energéticos

En la industria del cemento, así como en muchas otras industrias, el uso de los energéticos tomó gran importancia a partir de la crisis energética sufrida a nivel mundial en los primeros años de la década de los años setenta.

Para comenzar se muestra una tabla en la cual se describe la emisión de contaminantes dependiendo del tipo de combustible que se utiliza para la combustión.

Combustible	kg CO ₂ /GJ	kg SO ₂ /MJ	kg NO/MJ	ppm CO
Gas natural	67.15	3.99*10 ⁻⁵	7.335*10 ⁻⁵	0 – 18
Gas L.P.	60.74	4.05*10 ⁻⁷	5.9017*10 ⁻⁵	0 – 30
Diesel	72.78	2.34*10 ⁻⁴	7.153*10 ⁻⁵	50 – 200
Gasóleo	73.20	4.672*10 ⁻⁴	8.420*10 ⁻⁵	80 – 250
Combustóleo	74.96	1.446*10 ⁻³	1.287*10 ⁻⁴	100 – 380

Fuente: Termo Energía y Equipos, S.A. de C.V.; 1998.

Al observar esta tabla, uno puede pensar que lo favorable es el empleo de gas natural si lo que se quiere es mitigar la emisión de CO₂ a la atmósfera, sin embargo, las industrias (incluida la cementera) no utilizan aquello que sea más apropiado para conservar el medio ambiente, sino emplean lo que tienen más a la mano o lo que resulte menos costoso.

Paralelamente, la implantación de los precalcinadores en las plantas de elaboración de cemento, tiene intrínseca la reducción en el consumo de energéticos dados los beneficios térmicos que ello conlleva. Adicionalmente se pone en marcha una novedosa forma de calcinar el crudo y cuyos efectos no altera significativamente las propiedades del producto final, la cocción con combustible convencional y un pequeño porcentaje de combustibles alternos.

Los combustibles alternos utilizados por la industria del cemento son, en gran parte, desechos industriales o subproductos de otras industrias. Esto ha causado algo de polémica entre los grupos ambientalistas, ya que afirman generan emisiones contaminantes peligrosas. Esta posición es encontrada con la opinión de los cementeros que afirman e

“matando dos pájaros de un tiro”, por un lado se deshacen de los materiales aprovechables por la industria y que por lo tanto serán fuente de contaminación que estas industrias los desechen, y por otro lado las cementeras sustituyen los hidrocarburos por estos desechos, evitando la quema de recursos no renovables.

Las plantas cementeras se han interesado en los últimos años por utilizar y controlar los combustibles alternos. Estos combustibles son dosificados en las proporciones alternando su uso con los combustibles convencionales. Dentro del proceso de elaboración de cemento se queman llantas usadas, aceites, pinturas y residuos de la industria textil principalmente.

Un estudio realizado recientemente en la planta Lemona, en España, muestra una comparación en los valores de los gases de combustión cuando se quema exclusivamente combustible derivado del petróleo y cuando se alterna entre el petróleo (80 %) y llantas usada (20 %). Encontrando resultados bastante satisfactorios para argumentar que es correcta la utilización de neumáticos como combustible en la industria cementera.

Valores de emisiones registrados empleando combustible derivado del petróleo en combinación 80/20 de combustible y neumáticos

	Sin quema de llantas (mg/Nm ³)	Con quem (mg/Nm ³)
Partículas	40	30
HCl	4	0
HF	0.8	0
SO ₂	590	400
NO _x (ppm)	735	600

²⁵ Tomado de la revista Cemento Hormigón, No. 814; Sep 2000.

En el caso mexicano se cuenta con índices que muestran la tendencia a la reducción en el uso de combustible por unidad de producto y el uso de combustibles alternos (desechos de otras industrias), así como la reducción del empleo de energía eléctrica para las principales productoras nacionales de cemento, Cemex y Apasco²⁶.

Consumo térmico y eléctrico en Cemex

Año	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Consumo eléctrico (kWh / T cemento)	116	118	117	114	115	114	114
Consumo térmico (kcal / kg clinker)	957	960	958	949	927	928	922

Adicionalmente el uso de combustibles alternos en Cemex se incrementó en un 21% a 33,532 toneladas anuales, con el consecuente beneficio ambiental que asegura la disposición adecuada de materiales residuales aprovechables por su contenido energético.

Consumo térmico y eléctrico en Grupo Apasco

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Consumo eléctrico (kW / T de cemento)	120	118	111	110	110.2	108	105.6	102.6	104.6
Consumo térmico (kW / T de cemento)	934	924	811	705	749	734	733.8	733.6	733

De 1990 a 1998 Grupo Apasco ha reducido el consumo de energía eléctrica (13%) y de energía térmica (21%). El resultado combinado da una reducción total de 20% por tonelada de cemento producida.

²⁶Información obtenida de sus respectivas paginas en Internet

4. Trayectoria Tecnológica de los Colectores de Polvos

Dentro del proceso de elaboración de cemento, se presenta un grave problema que ha tratado de mitigarse, la fuga de polvos junto con los gases de combustión y el aire dentro del mismo proceso. Debido a que los gases se hacen fluir en contacto con el crudo que entrará al horno, éstos arrastran una cantidad importante de pequeñas partículas de polvo que son considerados contaminantes descargados a la atmósfera.

La solución a este problema es la colocación de colectores o recuperadores de polvo. La recuperación de polvos consiste en precipitar las partículas de polvo que están inmersas en los gases de combustión que salen del horno de calcinación o escape de aire. En pocas palabras, se tienen que desempolvar los gases antes de ser descargados a la atmósfera.

La producción de una tonelada de cemento, requiere la molienda de aproximadamente 2.8 toneladas de materia prima. Se estima que entre el 5 % y el 10 % de esta materia prima finamente molidos quedan suspendidos en el aire debiendo separarlos antes de ser descargados a la atmósfera (Prontuario del cemento, 1985).

El polvo emitido por las diversas unidades del proceso, en una fábrica de cemento es muy grande en su composición. Se distinguen principalmente los siguientes tipos de polvos:

1. Polvos de materia prima (caliza, arcilla, etc.).
2. Polvo de crudo.
3. Polvo del horno de cemento (polvo en los gases de escape).
4. Polvo de cemento.

El polvo de los hornos es arrastrado por los gases que salen del mismo, los gases de escape en la harina de crudo alterada térmicamente, arcilla deshidratada, caliza

(calcinada) y minerales de nueva formación correspondiente a las diversas zonas del horno y a todas las etapas de formación de clínker.

Los diversos separadores de polvo utilizados en la industria del cemento pueden subdividirse en dos categorías: separadores dentro del proceso de producción (para remover polvo de aires o gases de descarga de las plantas de molienda, precalentadores y equipo de transporte neumático); y separadores para remover el polvo del aire o gases descargados a la atmósfera directamente.

Los dispositivos desempolvadores de la primera categoría son en su mayoría separadores por inercia, separadores textiles y en ocasiones separadores electrostáticos. En cambio los separadores de inercia, raramente son empleados en la contaminación atmosférica; para esta finalidad son casi exclusivamente utilizados los filtros electrostáticos.

Con el fin de elegir entre los diferentes tipos de colectores de polvos, los cementeros consideran, no sólo el rendimiento alcanzado en la captación, sino también el costo de implementación y de su funcionamiento. A continuación se describen las tecnologías de diferentes tipos de colectores.

Separadores de Inercia

Dentro de los separadores de inercia se pueden identificar cuatro tipos de colectores:

1. Separadores de gravedad a contracorriente. Se trata de cámaras de polvo con corriente de gases vertical, las partículas de polvo se precipitan por acción de la gravedad y bajan mientras la corriente sube, aliviando su carga de polvos.

Como se puede inferir, este tipo de separadores no son muy eficientes y con ellos se pueden precipitar con mayor éxito a las partículas grandes de polvo. Las mejoras que se

realizado solo se pueden observar en la velocidad y densidad de flujo de desempolvar.

2. Separadores de gravedad en corriente transversal. Se trata de cámara corriente de gases horizontal, al igual que en el caso anterior, las precipitadas por la acción de la gravedad pero aquí son dirigidas transverse a la dirección de la corriente de gases.

En este caso, los colectores no son muy eficientes y de igual forma se usan colectores de polvo primarios debido a que precipitan principalmente las partículas de polvo. En este tipo de colectores las mejoras que se han dado, son en el flujo de los gases.

3. Separadores de impacto. Este tipo de separador consiste en incidir cambios de dirección de la corriente gaseosa, la cual se desprende del polvo ya que las partículas, son incapaces de seguir la trayectoria del gas.

Con este tipo de separadores se logra una mejor colección de los polvos finos que los anteriores. Como es de esperarse, las mejoras se realizan en la forma de flujo, deben seguir los gases para que las partículas sean separadas eficientemente en flujos adecuados.

4. Ciclones separadores. En éste tipo de separadores se someten las partículas a una aceleración centrífuga de varias veces la aceleración de la gravedad, las partículas son desplazadas hacia afuera del ducto y hacia abajo, mientras que el gas abandona el recinto de deposición de polvo, canalizándolo hacia arriba mediante un ducto.

El rendimiento total de los ciclones se afecta por la selectividad de separación de polvo según el tamaño de partícula y de acuerdo a la curva de separación²⁷ de los ciclones, el rendimiento de la captación total aumenta cuando se incrementan los valores de las variables influyentes: velocidad de la corriente, tendencia a la aglomeración y contenido de polvos en el gas que se está depurando.

En este caso, las mejoras que se han realizado en los separadores son: la optimización de la velocidad de aceleración de los gases y la disposición o arreglo de los separadores. En sus inicios, los ciclones sólo eran individuales, los cuales tenían una sola entrada y una sola salida. Posteriormente se colocaron en arreglos secuenciales (ciclones múltiples), es decir, la corriente que sale del ciclón anterior es la que alimenta al ciclón posterior. Ahora se presentan los sistemas multiciclones (arreglo paralelo de ciclones individuales) que consiste en distribuir uniformemente el flujo de gas en una única entrada y una única salida, pero que contiene pequeños ciclones en su interior.

Los multiciclones han presentado grandes ventajas sobre los otros dos. Para empezar ocupan una cantidad de espacio mucho menor que los ciclones múltiples de igual rendimiento. Debido al tamaño pequeño de los ciclones individuales que lo conforman dentro de ellos se ejerce una presión centrífuga más poderosa y así alcanzan mayores rendimientos. Claro aunado a ello, en la práctica se presentan diversos inconvenientes: los ciclones individuales que lo conforman presentan un mayor riesgo al taponamiento debido a su reducido tamaño; es difícil conseguir la distribución cien por ciento uniforme de gas en cada uno de los ciclones individuales, entre algunas otras inconvenientes menos graves.

²⁷ La curva de separación se construye graficando el porcentaje de captación de polvo en función del tamaño de partícula.

Filtros Textiles.

Los filtros textiles se emplean ampliamente en la industria del cemento para el polvo procedente de molinos tubulares, molinos de rodillos, secadores, trituradoras, plantas de manipulación y plantas de envasado. Sin embargo, como ya se ha mencionado, también se usan para el despolvado de gases de salida de los hornos de cemento. Existen varias clases de fibras empleadas en la industria del cemento:

Fibras naturales: algodón y lana.

Fibras sintéticas: nylon, nomex, diolén, trevira, dralón y teflón.

Fibras de vidrio: tejido de vidrio.

Los criterios para seleccionar capacidad y medio filtrante, son:

- Temperatura y contenido de humedad del gas cargado de polvos.
- Naturaleza y propiedades del polvo a limpiar.
- Tipo de filtro (tejido, no tejido).
- Forma para el filtro (de mangas o bolsa).
- Espacio disponible.
- Tipo y forma de construcción del sistema de limpieza del medio filtrante.

Como se puede ver en el caso de éstos filtros, los avances tecnológicos se centran en mejorar las diversas variables que afectan el rendimiento de los mismos: el material de los filtros, el arreglo y limpieza de los sistemas.

Filtros de Lecho Granular

Los filtros de lecho granular consisten en compartimientos llenos de gránulos de un tamaño entre 2 y 5 mm, descansando sobre una base de tela metálica en un recinto circular. En la industria del cemento, estos filtros se emplean principalmente para el despolvado de gases de salida de los hornos de cemento.

desempolvado del aire de descarga de los enfriadores de parrilla, puesto que resisten muy bien a la abrasión y altas temperaturas.

Este tipo de ciclones tiene una admisión de gases de forma irregular, lo que dificulta su funcionamiento óptimo. El avance más significativo que se ha realizado en este tipo de filtros es hacer que el aire o gas cargado de polvo se depure previamente en un ciclón de separador distribuyéndose después de los compartimentos individuales donde atraviesa un lecho granular. Finalmente limpio se extrae por medio de un ventilador y se descarga a la atmósfera.

Una ventaja de los filtros de lecho granular es su aptitud para aceptar elevados grados de sobrecarga, hasta 150 %, aun cuando de ellos resulte una abrupta caída de presión total.

Precipitadores Electrostáticos

Los precipitadores electrostáticos o electro filtros se utilizan muy particularmente en la industria del cemento para la separación de los gases salientes de los hornos.

En el precipitador electrostático el gas cargado de polvo pasa a través de una cámara, siempre en dirección horizontal, a través de uno o varios campos eléctricos de alta tensión formados por electrodos de descarga, alternados con electrodos colectores o receptores en forma de placas, mientras los últimos son conectados a tierra, los primeros se alimentan con una corriente continua de alta tensión (110 kV).

Bajo la acción del campo eléctrico, las partículas de polvo se cargan negativamente por las iones de gas formados junto a los electrodos de descarga y depositándose en su superficie. Un mecanismo de golpeo desprende el polvo de los electrodos y lo hacen caer en tolvas receptoras situadas en la parte inferior de la caja del filtro.

La carga eléctrica adquirida por las partículas de polvo depende, en primer lugar de la resistencia específica. En la parte inferior de la banda de temperaturas la resistencia

específica aumenta cuando la temperatura se eleva, como resultado de la disminución de la conductividad superficial. En la parte alta de la misma banda (más de 250 °C) la resistencia específica disminuye, como resultado de la excitación térmica de los electrones, con lo cual muchos polvos adquieren propiedades de semiconductor.

La caja del precipitador se construye con planchas de acero inoxidable o aluminio laminado, estando provista, generalmente de un cobertor para aislamiento térmico de 150 mm de espesor. La distribución del gas sobre la totalidad de la sección del filtro se garantiza por medio de montajes internos (por ejemplo, pantallas perforadas). Las tolvas receptoras de polvo van provistas de ciertos dispositivos para evitar el derrame en su interior.

Según el comportamiento que se desee en la descarga, los electrodos se suministran en varias formas: alambres redondos rectos o helicoidales, alambres especiales, de sección en forma de cruz o estrella, alambres o barras formados en U, en V, en Z, en S, en C, en G, en H, en I, en J, en K, en L, en M, en N, en O, en P, en Q, en R, en S, en T, en U, en V, en W, en X, en Y, en Z, en AA, en AB, en AC, en AD, en AE, en AF, en AG, en AH, en AI, en AJ, en AK, en AL, en AM, en AN, en AO, en AP, en AQ, en AR, en AS, en AT, en AU, en AV, en AW, en AX, en AY, en AZ, en BA, en BB, en BC, en BD, en BE, en BF, en BG, en BH, en BI, en BJ, en BK, en BL, en BM, en BN, en BO, en BP, en BQ, en BR, en BS, en BT, en BU, en BV, en BV, en BW, en BX, en BY, en BZ, en CA, en CB, en CC, en CD, en CE, en CF, en CG, en CH, en CI, en CJ, en CK, en CL, en CM, en CN, en CO, en CP, en CQ, en CR, en CS, en CT, en CU, en CV, en CW, en CX, en CY, en CZ, en DA, en DB, en DC, en DD, en DE, en DF, en DG, en DH, en DI, en DJ, en DK, en DL, en DM, en DN, en DO, en DP, en DQ, en DR, en DS, en DT, en DU, en DV, en DW, en DX, en DY, en DZ, en EA, en EB, en EC, en ED, en EE, en EF, en EG, en EH, en EI, en EJ, en EK, en EL, en EM, en EN, en EO, en EP, en EQ, en ER, en ES, en ET, en EU, en EV, en EW, en EX, en EY, en EZ, en FA, en FB, en FC, en FD, en FE, en FF, en FG, en FH, en FI, en FJ, en FK, en FL, en FM, en FN, en FO, en FP, en FQ, en FR, en FS, en FT, en FU, en FV, en FW, en FX, en FY, en FZ, en GA, en GB, en GC, en GD, en GE, en GF, en GG, en GH, en GI, en GJ, en GK, en GL, en GM, en GN, en GO, en GP, en GQ, en GR, en GS, en GT, en GU, en GV, en GW, en GX, en GY, en GZ, en HA, en HB, en HC, en HD, en HE, en HF, en HG, en HH, en HI, en HJ, en HK, en HL, en HM, en HN, en HO, en HP, en HQ, en HR, en HS, en HT, en HU, en HV, en HW, en HX, en HY, en HZ, en IA, en IB, en IC, en ID, en IE, en IF, en IG, en IH, en II, en IJ, en IK, en IL, en IM, en IN, en IO, en IP, en IQ, en IR, en IS, en IT, en IU, en IV, en IW, en IX, en IY, en IZ, en JA, en JB, en JC, en JD, en JE, en JF, en JG, en JH, en JI, en JJ, en JK, en JL, en JM, en JN, en JO, en JP, en JQ, en JR, en JS, en JT, en JU, en JV, en JW, en JX, en JY, en JZ, en KA, en KB, en KC, en KD, en KE, en KF, en KG, en KH, en KI, en KJ, en KK, en KL, en KM, en KN, en KO, en KP, en KQ, en KR, en KS, en KT, en KU, en KV, en KW, en KX, en KY, en KZ, en LA, en LB, en LC, en LD, en LE, en LF, en LG, en LH, en LI, en LJ, en LK, en LL, en LM, en LN, en LO, en LP, en LQ, en LR, en LS, en LT, en LU, en LV, en LW, en LX, en LY, en LZ, en MA, en MB, en MC, en MD, en ME, en MF, en MG, en MH, en MI, en MJ, en MK, en ML, en MM, en MN, en MO, en MP, en MQ, en MR, en MS, en MT, en MU, en MV, en MW, en MX, en MY, en MZ, en NA, en NB, en NC, en ND, en NE, en NF, en NG, en NH, en NI, en NJ, en NK, en NL, en NM, en NN, en NO, en NP, en NQ, en NR, en NS, en NT, en NU, en NV, en NW, en NX, en NY, en NZ, en OA, en OB, en OC, en OD, en OE, en OF, en OG, en OH, en OI, en OJ, en OK, en OL, en OM, en ON, en OO, en OP, en OQ, en OR, en OS, en OT, en OU, en OV, en OW, en OX, en OY, en OZ, en PA, en PB, en PC, en PD, en PE, en PF, en PG, en PH, en PI, en PJ, en PK, en PL, en PM, en PN, en PO, en PP, en PQ, en PR, en PS, en PT, en PU, en PV, en PW, en PX, en PY, en PZ, en QA, en QB, en QC, en QD, en QE, en QF, en QG, en QH, en QI, en QJ, en QK, en QL, en QM, en QN, en QO, en QP, en QQ, en QR, en QS, en QT, en QU, en QV, en QW, en QX, en QY, en QZ, en RA, en RB, en RC, en RD, en RE, en RF, en RG, en RH, en RI, en RJ, en RK, en RL, en RM, en RN, en RO, en RP, en RQ, en RR, en RS, en RT, en RU, en RV, en RW, en RX, en RY, en RZ, en SA, en SB, en SC, en SD, en SE, en SF, en SG, en SH, en SI, en SJ, en SK, en SL, en SM, en SN, en SO, en SP, en SQ, en SR, en SS, en ST, en SU, en SV, en SW, en SX, en SY, en SZ, en TA, en TB, en TC, en TD, en TE, en TF, en TG, en TH, en TI, en TJ, en TK, en TL, en TM, en TN, en TO, en TP, en TQ, en TR, en TS, en TT, en TU, en TV, en TW, en TX, en TY, en TZ, en UA, en UB, en UC, en UD, en UE, en UF, en UG, en UH, en UI, en UJ, en UK, en UL, en UM, en UN, en UO, en UP, en UQ, en UR, en US, en UT, en UY, en UZ, en VA, en VB, en VC, en VD, en VE, en VF, en VG, en VH, en VI, en VJ, en VK, en VL, en VM, en VN, en VO, en VP, en VQ, en VR, en VS, en VT, en VU, en VV, en VW, en VX, en VY, en VZ, en WA, en WB, en WC, en WD, en WE, en WF, en WG, en WH, en WI, en WJ, en WK, en WL, en WM, en WN, en WO, en WP, en WQ, en WR, en WS, en WT, en WU, en WV, en WW, en WX, en WY, en WZ, en XA, en XB, en XC, en XD, en XE, en XF, en XG, en XH, en XI, en XJ, en XK, en XL, en XM, en XN, en XO, en XP, en XQ, en XR, en XS, en XT, en XU, en XV, en XW, en XX, en XY, en XZ, en YA, en YB, en YC, en YD, en YE, en YF, en YG, en YH, en YI, en YJ, en YK, en YL, en YM, en YN, en YO, en YP, en YQ, en YR, en YS, en YT, en YU, en YV, en YW, en YX, en YY, en YZ, en ZA, en ZB, en ZC, en ZD, en ZE, en ZF, en ZG, en ZH, en ZI, en ZJ, en ZK, en ZL, en ZM, en ZN, en ZO, en ZP, en ZQ, en ZR, en ZS, en ZT, en ZU, en ZV, en ZW, en ZX, en ZY, en ZZ.

El rendimiento de los colectores de los precipitadores electrostáticos, depende de la medida de la velocidad de mitigación de las partículas o velocidad de arrastre. Este valor de referencia que comprende todas las influencias que pueden alterar el rendimiento del mismo: resistencia específica del polvo, intensidad de campo eléctrico, tamaño de la partícula de polvo, viscosidad del gas, forma y modelo de los electrodos, etc.

Antes del electro filtro se localiza la unidad de acondicionamiento que sirve para elevar la temperatura de los gases entrantes, con ello se obtiene una mejor precipitación. Al mismo tiempo, el gas que entra a la unidad de acondicionamiento, toda el agua que contiene a una temperatura suficientemente alta, distribución uniforme y un tiempo de residencia bastante largo para que toda el agua se pueda evaporar completamente.

Como se puede observar con lo descrito en los últimos párrafos, los filtros han sufrido innovaciones incrementales en cuanto al material utilizado, forma y distribución de arreglos, así como de los componentes internos de los electro filtros. El fin perseguido en la mejora tecnológica de los filtros es aumentar la eficiencia en la recolección de polvos, mientras más pequeño es el tamaño de la partícula recuperada, menos emisiones se tienen a la atmósfera y aumenta significativamente la eficiencia de colección de polvos.

ANEXO 2

NORMA OFICIAL MEXICANA PARA LA INDUSTRIA ELABORACIÓN DE CEMENTO

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-040-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE PARTICULAS SÓLIDAS, ASÍ COMO LOS REQUISITOS DE CONTROL DE EMISIONES FUGITIVAS, PROVENIENTES DE LAS FUENTES DEDICADAS A LA FABRICACIÓN DE CEMENTO.¹

(Publicada en el D.O.F. de fecha 22 de octubre de 1993)

PREFACIO

En la elaboración de esta norma oficial mexicana participaron:

- **SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL**
 - . Instituto Nacional de Ecología
 - . Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
- **SECRETARIA DE ENERGÍA, MINAS E INDUSTRIA PARAESTADOS UNIDOS MEXICANOS**
 - . Subsecretaría de Energía
- **SECRETARIA DE SALUD**
 - . Dirección General de Salud Ambiental
- **DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL**
 - . Dirección General de Proyectos Ambientales
- **GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO**

¹ La nomenclatura de esta norma oficial mexicana está en términos del Acuerdo por el que se modifica la nomenclatura de 58 Normas Oficiales Mexicanas en materia de Protección Ambiental publicadas en el Diario Oficial de la Federación el día 29 de noviembre de 1994.

- . Secretaría de Ecología
- **PETRÓLEOS MEXICANOS**
- . Auditoría de Seguridad Industrial, Protección Ambiental y Ahorro Energía
- . Gerencia de Protección Ambiental y Ahorro de Energía
- . Pemex-Gas y Petroquímica Básica
- . Gerencia de Seguridad Industrial y Protección Ambiental
- **COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**
- . Gerencia de Protección Ambiental
- **ASOCIACIÓN MEXICANA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ, A.C.**
- **ASOCIACIÓN NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUÍMICA, A. C.**
- **CÁMARA MINERA DE MÉXICO**
- **CÁMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE ACEITES, GRASAS JABONES**
- **CÁMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACIÓN**
- **CONFEDERACIÓN PATRONAL DE LA REPUBLICA MEXICANA**
- **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**
- **LABORATORIOS NACIONALES DE FOMENTO INDUSTRIAL**
- **PINTURAS DE LERAPLAS, S.A.**
- **PROCTER & GAMBLE, S.A. DE C.V.**

1. OBJETO

Esta norma oficial mexicana establece los niveles máximos permisibles emisión a la atmósfera de partículas sólidas, así como los requisitos de control emisiones fugitivas provenientes de fuentes fijas dedicadas a la fabricación cemento

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria para los responsables de las fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento.

3. REFERENCIAS

- NMX-AA-01 Método de prueba para determinar la densidad aparente del humo empleando la carta de Ringelmann.
- NMX-AA-09 Determinación del flujo de gases en un conducto por medio de un pitot.
- NMX-AA-23 Terminología.
- NMX-AA-35 Determinación de bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno en los gases de combustión (Orsat).
- NMX-AA-54 Determinación del contenido de humedad en los gases de combustión por un conducto.
- NMX-AA-10 Determinación de la emisión de partículas sólidas con los gases que se descargan por un conducto.

4. DEFINICIONES

4.1 Base seca

La medida de una sustancia sin considerar su contenido de humedad.

4.2 Emisión de partículas a la atmósfera

La cantidad de partículas sólidas descargadas a la atmósfera.

4.3 Emisión fugitiva

La descarga de contaminantes a la atmósfera, cuando no sean controladas a través de ductos o chimeneas.

4.4 Proceso de calcinación

Las operaciones conjuntas realizadas en el precalentador, el precalentador y hornos rotatorios.

4.5 Volumen a condiciones normales

El volumen de un gas referido a una temperatura de 298 °K (25° C) y 101,325 kPa (760 mm Hg.).

5. ESPECIFICACIONES

5.1 Los niveles máximos permisibles de emisión de partículas a la atmósfera originadas por las fuentes fijas referidas en las tablas 1 y 2.

Tabla 1
Niveles máximos permisibles de emisión de partículas a la atmósfera en procesos de calcinación

Proceso de calcinación	Niveles máximos permisibles de partículas kg/h
Menor a 300 ton/hr	$0.6319(C)^{0.7502}$
Igual o mayor a 300 ton/hr	$0.15(C)$

Donde:

C = Cantidad de material alimentado a hornos de calcinación en toneladas por hora.

Tabla 2
Niveles máximos permisibles de emisión de partículas en operaciones de trituración, molienda y enfriamiento de clínker

Operación	Niveles máximos permisibles de partículas $\text{mg}/\text{m}^3 \text{ N}^1$
Trituración	80
Molienda de materia prima sin secador integrado	80
Molienda de materias primas, con unidades de secado integrados que utilicen combustibles fósiles	380
Molienda de cemento	80
Enfriamiento del clínker	150

N1.-Volumen a condiciones normales, base seca

5.2 Los requisitos para el control de las emisiones fugitivas en las referidas en esta norma son :

5.2.1 Colocar casetas, mamparas o cobertizos en los lugares de de materias primas.

5.2.2 Colocar casetas o cobertizos cubriendo los apilamientos de realizar almacenamientos en tolvas.

5.2.3 Colocar equipos de control en los silos de almacenamiento.

5.2.4 Confinar los transportadores de bandas o canjilones e instala control en los puntos de transferencia de materiales.

5.2.5 Colocar casetas, mamparas o cobertizos en donde se efectúe el manejo de granel del producto o instalar equipo de control.

5.2.6 Pavimentar y mantener limpias las áreas destinadas al tránsito.

5.2.7 Confinar e instalar equipos de control en aquellas otras operaciones que presenten emisiones fugitivas.

5.2.8 Los anteriores requisitos podrán sustituirse por medidas que permitan obtener resultados equivalentes.

5.3 La evaluación de las emisiones de partículas se llevará a cabo de acuerdo al procedimiento y el equipo previsto en las normas oficiales correspondientes.

5.4 En caso de falla del equipo de control de las emisiones se deberá suspender el numeral 5.1 de esta norma se deberán tomar las siguientes medidas:

5.4.1 Para equipo de control del proceso de calcinación:

5.4.1.1 Iniciar la disminución de materia prima hasta su total suspensión en las siguientes cuatro horas posteriores a la falla.

5.4.2 Para cualquier operación.

5.4.2.1 Suspender la alimentación de la materia prima hasta su total suspensión en la siguiente hora posterior a la falla.

5.4.3 Reiniciar la alimentación hasta que el equipo de control es reparado.

5.5 Cuando existan dos o más chimeneas para la descarga de partículas generadas durante una operación o proceso de la fabricación del cemento, los muestreos deben efectuarse en forma simultánea en cada una de las chimeneas. La emisión total de la operación o proceso correspondiente será la que resulte de sumar las emisiones provenientes de cada una de las chimeneas.

5.6 Los responsables de las fuentes fijas referidas en esta norma oficial mexicana deberán registrar en la bitácora a que se refiere el artículo 17 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, la siguiente información:

5.6.1 Para los hornos de calcinación.

5.6.1.1 La alimentación en promedio horario y totales por día, mes y año.

5.6.1.2 Registro de temperatura de los gases de salida cada dos horas.

5.6.1.3 Paros y reinicios de operaciones con fecha, hora, duración y motivo de los mismos.

5.6.1.4 Tipo de combustible y su consumo por hora.

5.6.2 Para equipos de control de emisión a la atmósfera:

5.6.2.1 Fallas y sus causas con tiempo de reparación y puesta en marcha.

5.6.3 Registro de mantenimientos preventivos y correctivos efectuados a hornos, quemadores y equipos de control de emisiones.

5.6.4 Registro de eventos extraordinarios, tales como explosiones, fallas de suministro de corriente eléctrica y todos aquellos que tengan como resultado emisiones imprevistas de contaminantes a la atmósfera.

6. VIGILANCIA

La Secretaría de Desarrollo Social por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, es la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

7. SANCIONES

El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana, será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

al Ambiente, su Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

8. BIBLIOGRAFÍA

8.1 Code of Federal Regulations 40, Parts 53 to 60, revised July 1991 (Código Federal de Regulaciones 40, partes 53 a 60, revisado en julio de 1991, Estados Unidos de América).

9. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

9.1 Esta norma oficial mexicana no coincide con ninguna norma internacional.

10. VIGENCIA

10.1 La presente norma oficial mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

10.2 Se abroga el Acuerdo por el que se expidió la norma técnica en materia de CCAT-002/91 publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de octubre de 1991.

Dada en la ciudad de México, Distrito Federal, a los dieciocho días del mes de octubre del año mil novecientos noventa y tres. El Presidente del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Sergio Reyes Luján.- Rúbrica.